

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО

**Солодкий В.І.**

**РІЗАЛЬНИЙ ІНСТРУМЕНТ  
ТА ІНСТРУМЕНТАЛЬНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА**

**ВВЕДЕННЯ ДО ПРЕДМЕТУ  
КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

Для студентів механіко-машинобудівного інституту  
спеціальності 133 “Галузеве машинобудування”  
спеціалізації  
“Інструментальні системи та формоутворення деталей”

Видання в авторській редакції

КИЇВ 2016  
КПІ ім. І. Сікорського

УДК 621.9.02

ББК 34.63

Ш 67

Конспект лекцій для студентів механіко-машинобудівного інституту спеціальності 133 “Галузеве машинобудування” спеціалізації “Інструментальні системи та формоутворення деталей”. [Текст] / Уклад.: В.І. Солодкий. – К.: КПІ ім. І. Сікорського, 2016. – 307 с.

РІЗАЛЬНИЙ ІНСТРУМЕНТ  
ТА ІНСТРУМЕНТАЛЬНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА

Введення до предмету

Конспект лекцій

Для студентів механіко-машинобудівного інституту  
спеціальності 133 “Галузеве машинобудування”  
спеціалізації

“Інструментальні системи та формоутворення деталей”

У конспекті лекцій наведені основні ввідні відомості до предмету з різального інструменту. Для глибокого вивчення дисципліни необхідно користуватися спеціальною літературою, перелік якої наводиться в кінці кожного розділу.

Затверджено Вченою радою  
механіко-машинобудівного інституту  
Київського політехнічного інституту  
Протокол №3 від 24.10.2016 р.

Рецензенти:

Антонюк Віктор Степанович – д-р техн. наук, проф.

Петраков Юрій Володимирович – д-р техн. наук, проф.

Відповідальний редактор :

Пасічник Віталій Анатолійович – д-р техн. наук, проф.

© Солодкий В.І. 2016  
КПІ ім. І. Сікорського

Моєму вчителеві, нині покійному  
професору Родіну Петру Родіоновичу  
чия світла пам'ять супроводжувала  
роботу над рукописом.

*Солодкий В.І.*

## ДО СТУДЕНТА

В основу конспекту покладено багаторічний досвід викладання курсу “Різальний інструмент та інструментальне забезпечення автоматизованого виробництва” в Київському політехнічному інституті.

Цей конспект ні в якому разі не замінить живого спілкування з викладачем. Викладений матеріал можна розглядати, як введення до знань в галузі інструментального виробництва.

Отже, найкращий варіант вивчення предмету – відвідувати лекції.

*Україна*

*Київ, 2016.*

# Зміст

<b>Вступ</b>	<b>16</b>
<b>1 Тематика лекційних занять</b>	<b>20</b>
1.1 Загальні питання та інструментальні матеріали . . . . .	20
1.2 Різці . . . . .	20
1.3 Свердла . . . . .	21
1.4 Зенкери та розвертки . . . . .	22
1.5 Протяжки . . . . .	22
1.6 Інструмент для утворення різьби . . . . .	23
1.7 Інструмент що працює методом обкатки . . . . .	24
1.8 Абразивний інструмент . . . . .	25
1.9 Фрези стандартні . . . . .	25
1.10 Фрези фасонні гострозаточені . . . . .	25
1.11 Фрези фасонні затиловані . . . . .	26
1.12 Інструмент для обробки зубчатих коліс . . . . .	27
1.13 Інструментальне забезпечення автоматизованого ви- робництва . . . . .	29
<b>2 Класифікація інструментів</b>	<b>32</b>
2.1 Елементи інструментів . . . . .	37
2.2 Елементи різання . . . . .	40
2.3 Системи координат . . . . .	42
2.4 Питання для самоконтролю . . . . .	46
<b>3 Вимоги до інструментів</b>	<b>48</b>
3.1 Якість інструментів . . . . .	48
3.2 Руйнування інструменту . . . . .	50
3.3 Надійність інструментів . . . . .	53
3.4 Міцність інструменту . . . . .	56
3.5 Працездатність . . . . .	56
3.6 Перспективи . . . . .	60
3.7 Питання для самоконтролю . . . . .	65
<b>4 Конструювання інструментів</b>	<b>67</b>
4.1 Етапи конструювання . . . . .	71
4.2 Частини інструменту . . . . .	72
4.3 Технологічність інструменту . . . . .	73
4.4 Кріплення інструментів . . . . .	73
4.5 Автоматизоване виробництва . . . . .	77

4.6	Організація проектування . . . . .	79
4.7	Робочий кресленик . . . . .	80
4.8	Питання для самоконтролю . . . . .	81
<b>5</b>	<b>Інструментальні матеріали</b>	<b>83</b>
5.1	Вимоги до інструментальних матеріалів . . . . .	85
5.2	Вуглецеві сталі . . . . .	89
5.3	Леговані сталі . . . . .	94
5.4	Швидкорізальні сталі . . . . .	97
5.4.1	Структура швидкорізальних сталей . . . . .	99
5.4.2	Технологія термічної обробки. . . . .	100
5.4.3	Властивості швидкорізальних сталей. . . . .	101
5.5	Тверді сплави . . . . .	102
5.6	Мінералокераміка . . . . .	107
5.7	Алмази . . . . .	110
5.8	Синтетичні матеріали . . . . .	110
5.9	Порівняння матеріалів . . . . .	111
5.10	Питання до самоконтролю . . . . .	112
<b>6</b>	<b>Токарні різці</b>	<b>114</b>
6.1	Конструкція та геометрія . . . . .	117
6.2	Подрібнення стружки . . . . .	121
6.3	Геометричні параметри . . . . .	121
6.4	Конструювання різців . . . . .	124
6.5	Перспективи різців . . . . .	125
6.6	Питання для самоконтролю . . . . .	126
<b>7</b>	<b>Фасонні різці</b>	<b>128</b>
7.1	Призначення і класифікація . . . . .	128
7.2	Геометрія фасонних різців . . . . .	129
7.2.1	Радіальні різці . . . . .	129
7.2.2	Тангенціальні різці . . . . .	131
7.3	Конструктивні елементи . . . . .	131
7.4	Проектування фасонних різців . . . . .	132
7.5	Питання для самоконтролю . . . . .	133
<b>8</b>	<b>Оброблення отворів</b>	<b>135</b>
8.1	Свердло . . . . .	136
8.1.1	Конструктивні елементи свердла . . . . .	138
8.1.2	Геометрія свердла . . . . .	141
8.1.3	Свердла для глибоких отворів . . . . .	145

8.1.4	Кільцеве свердло . . . . .	147
8.1.5	Проектування свердла . . . . .	147
8.2	Зенкери . . . . .	150
8.2.1	Типи зенкерів . . . . .	150
8.2.2	Конструктивні параметри . . . . .	152
8.2.3	Геометрія зенкеру . . . . .	154
8.3	Розвертка . . . . .	154
8.3.1	Конструкція розвертки. . . . .	155
8.3.2	Геометрія розвертки . . . . .	158
8.3.3	Типи розверток . . . . .	159
8.3.4	Проектування розверток . . . . .	162
8.4	Питання для самоконтролю . . . . .	164
<b>9</b>	<b>Протяжки</b>	<b>166</b>
9.1	Конструкція протяжки . . . . .	168
9.2	Різальні та калібруючі зубці . . . . .	171
9.3	Схеми різання при протягуванні . . . . .	172
9.3.1	Одинарна схема різання . . . . .	172
9.3.2	Груповая схема різання . . . . .	174
9.4	Подача на зуб . . . . .	176
9.5	Стружкова канавка . . . . .	177
9.6	Питання для самоконтролю . . . . .	179
<b>10</b>	<b>Різьбонарізні інструменти</b>	<b>181</b>
10.1	Різьбові різці . . . . .	181
10.1.1	Проектування різців . . . . .	182
10.2	Мітчики . . . . .	185
10.2.1	Зрізання припуску . . . . .	186
10.2.2	Геометричні параметри мітчика . . . . .	187
10.2.3	Мітчики машинні . . . . .	189
10.2.4	Проектування мітчиків . . . . .	191
10.3	Плашки . . . . .	192
10.4	Різьбонарізні фрези . . . . .	198
10.5	Різьбоканатні інструменти . . . . .	199
10.6	Контрольні питання . . . . .	202
<b>11</b>	<b>Фрези</b>	<b>203</b>
11.1	Класифікація . . . . .	203
11.2	Конструктивні та геометричні параметри . . . . .	206
11.3	Призначення фрез . . . . .	207

11.4	Набори фрез . . . . .	213
11.5	Проектування фрез . . . . .	216
11.6	Питання для самоконтролю . . . . .	218
<b>12</b>	<b>Фасонні фрези</b>	<b>219</b>
12.1	Гострозаточені фрези . . . . .	220
12.2	Затиловані фрези . . . . .	221
12.3	Кути затилованої фрези . . . . .	224
12.4	Подвійне затилювання . . . . .	225
12.5	Особливості затилованих фрез . . . . .	227
12.6	Питання для самоконтролю . . . . .	228
<b>13</b>	<b>Зуборізні інструменти</b>	<b>229</b>
13.1	Дискові модульні фрези . . . . .	231
13.2	Пальцьові модульні фрези . . . . .	232
13.3	Зуборізні гребінки . . . . .	233
13.4	Черв'ячні фрези . . . . .	235
13.4.1	Гвинтові поверхні . . . . .	236
13.4.2	Профілювання черв'ячних фрез . . . . .	239
13.4.3	Конструкція і геометрія черв'ячних фрез . . . . .	240
13.5	Фрези для черв'ячних коліс . . . . .	241
13.6	Довбачі . . . . .	243
13.6.1	Принципи конструювання довбача . . . . .	244
13.6.2	Особливості роботи довбача . . . . .	245
13.7	Шевери . . . . .	245
13.8	Конічні зубчасті колеса . . . . .	248
13.9	Питання для самоконтролю . . . . .	252
<b>14</b>	<b>Шліцьові фрези</b>	<b>254</b>
14.1	Черв'ячна шліцьова фреза . . . . .	254
14.2	Радіус початкового кола . . . . .	255
14.3	Графічне профілювання . . . . .	257
14.3.1	Метод послідовних положень . . . . .	258
14.3.2	Метод загальних нормалей . . . . .	261
14.4	Питання для самоконтролю . . . . .	263
<b>15</b>	<b>Автоматизоване виробництво</b>	<b>265</b>
15.1	Продуктивність інструменту . . . . .	265
15.2	Автоматизація виробництва . . . . .	267
15.3	Інструментальне забезпечення . . . . .	278
15.3.1	Блок-схеми . . . . .	283



15.3.2 Ефективність систем . . . . .	284
15.4 Питання до самоконтролю . . . . .	289
<b>16 Теми типових питань</b>	<b>290</b>
<b>17 Література</b>	<b>301</b>

## Перелік ілюстрацій

0.1	Тейлор Ф.У. . . . .	16
2.1	Елементи руху . . . . .	41
2.2	Статична система координат . . . . .	43
2.3	Кінематична система координат . . . . .	45
3.1	Непрацездатність інструменту . . . . .	51
5.1	Пластина твердого сплаву . . . . .	103
6.1	Різець цільний . . . . .	114
6.2	Різець складений . . . . .	114
6.3	Різновиди точіння . . . . .	116
6.4	Змінна пластина . . . . .	119
6.5	Складені токарські різці . . . . .	126
7.1	Фасонні токарні різці . . . . .	129
7.2	Круглий фасонний різець . . . . .	130
7.3	Призматичний фасонний різець . . . . .	130
7.4	Тангенціальний різець . . . . .	130
8.1	Свердління. . . . .	136
8.2	Типи зенкерів . . . . .	136
8.3	Розвертки . . . . .	136
8.4	Свердло лучкове . . . . .	137
8.5	Свердлувальний “верстат” . . . . .	137
8.6	Стандартне спіральне свердло . . . . .	139
8.7	Свердлування та розсвердлування . . . . .	140
8.9	Кути вздовж кромки . . . . .	142
8.8	Геометричні параметри свердла . . . . .	142
8.10	Знос свердла . . . . .	144
8.11	Гарматне свердло . . . . .	145
8.12	Кільцеве свердло . . . . .	147
8.13	Профіль фрези . . . . .	150
8.14	Зенкер цільний . . . . .	151
8.15	Зенкер насадний . . . . .	151
8.16	Елементи циліндричного зенкера . . . . .	153
8.17	Робота розвертки . . . . .	154
8.18	Конструктивні елементи розвертки . . . . .	156
8.19	Профіль канавок розвертки . . . . .	158
8.20	Геометричні параметри розвертки . . . . .	159
8.21	Розвертки що регулюються . . . . .	160
8.22	Конічні розвертки . . . . .	161
8.23	Машинні розвертки . . . . .	162

8.24	Допуски розвертки . . . . .	163
9.1	Робота протяжки . . . . .	166
9.2	Основні елементи протяжки . . . . .	168
9.3	Передня частина протяжки . . . . .	169
9.4	Різальний зуб . . . . .	171
9.5	Калібруючий зуб . . . . .	171
9.6	Груповою схема різання . . . . .	175
9.7	Форма стружкової канавки . . . . .	178
10.1	Різці різьбові фасонні . . . . .	182
10.2	Комплект ручних мітчиків . . . . .	185
10.3	Формування різьбового профілю . . . . .	186
10.4	Розподіл припуску між мітчиками . . . . .	187
10.5	Геометрія мітчика . . . . .	187
10.6	Затилування мітчика . . . . .	187
10.7	Геометрія затилування . . . . .	188
10.8	Мітчик машинний . . . . .	189
10.9	Видалення стружки . . . . .	189
10.10	Мітчик з укороченою стружковою канавкою . . . . .	189
10.11	Гайковий прямий мітчик . . . . .	190
10.12	Гайковий вигнутий мітчик . . . . .	190
10.13	Плашка . . . . .	192
10.14	Плашка круга . . . . .	193
10.15	Фреза різьбова дискова . . . . .	198
10.16	Фрези різьбові гребінчасті . . . . .	198
10.17	Накатка різьби . . . . .	200
10.18	Накатна плашка . . . . .	201
10.19	Накатні ролики . . . . .	201
11.1	Простий зуб . . . . .	207
11.2	Посилений зуб . . . . .	207
11.3	Зміцнений зуб . . . . .	207
11.4	Фреза циліндрична цільна . . . . .	208
11.5	Фреза торцева . . . . .	208
11.6	Фреза дискова . . . . .	209
11.7	Фреза з різнонаправленим зубом . . . . .	209
11.8	Фреза прорізна . . . . .	210
11.9	Фреза кінцева . . . . .	211
11.10	Фреза шпонкова . . . . .	212
11.11	Т-подібна фреза . . . . .	212
11.12	Набори фрез . . . . .	213
11.13	Перекриття кромки . . . . .	214

12.1 Фасоні фрези . . . . .	220
12.2 Кути гострозаточеного зубу . . . . .	221
12.3 Заточування гостро-заточеного зубу . . . . .	221
12.4 Заточування затилюваного зубу . . . . .	222
12.5 Крива затилювання . . . . .	222
12.6 Схема затилювання . . . . .	223
12.7 Типи затилювання . . . . .	223
12.8 Подвійне затилювання . . . . .	226
13.1 Робота фрез методом копіювання . . . . .	231
13.2 Фреза модульна дискова цільна . . . . .	232
13.3 Профіль зубців . . . . .	232
13.4 Фреза модульна пальцева . . . . .	233
13.5 Гребінка зуборізна . . . . .	233
13.6 Типи гребінок . . . . .	234
13.7 Підточка гребінок . . . . .	234
13.8 Фреза черв'ячна . . . . .	235
13.9 Принцип роботи черв'ячної фрези . . . . .	235
13.10 Архімедова гвинтова поверхня . . . . .	237
13.11 Евольвентна гвинтова поверхня . . . . .	237
13.12 Спіраль Архімеда . . . . .	237
13.13 Евольвента . . . . .	237
13.14 Нарізання черв'яків . . . . .	238
13.15 Фреза цільна . . . . .	240
13.16 Фреза з вставними зубами . . . . .	240
13.17 Фреза з рейками . . . . .	241
13.18 Фреза з рейками на шпонці . . . . .	241
13.19 Черв'ячна передача . . . . .	242
13.20 Нарізування колеса . . . . .	242
13.21 Радіальне та тангенціальне фрезерування . . . . .	242
13.22 Летючка . . . . .	242
13.23 Довбач робота . . . . .	243
13.24 Типи довбачів . . . . .	243
13.25 Зуб довбача . . . . .	244
13.26 Шевер дисковий . . . . .	246
13.27 Шевер рейка . . . . .	246
13.28 Зуб шевера . . . . .	246
13.29 Принцип роботи шевера . . . . .	247
13.30 Швидкість ковзання шевера . . . . .	247
13.31 Конічне колесо . . . . .	249
13.32 Конічне зачеплення . . . . .	249

13.33 Стругання конічного колеса . . . . .	250
13.34 Різець для конічних коліс . . . . .	250
13.35 Кінематика зуборізних різців . . . . .	250
13.36 Різцева головка . . . . .	251
13.37 Кінематика різцевої головки . . . . .	251
14.1 Шліцьова фреза . . . . .	254
14.2 Торцевий профіль деталі . . . . .	256
14.3 Шаблон профілю деталі . . . . .	258
14.4 Послідовність побудов . . . . .	260
14.5 Результат профілювання . . . . .	261
14.6 Профіль інструменту . . . . .	262
15.1 Свердлувальний вер-стат з подвійним приводом . . . . .	266
15.2 Токарний верстат торцевого різблення . . . . .	268
15.3 Московський токарний верстат . . . . .	269
15.4 Токарний двошпиндельний підвищеної зручності (з сідницею) . . . . .	270
15.5 Багатошпиндельний автомат . . . . .	271
15.6 Верстати VIP (царського) виконання . . . . .	272
15.7 Селянин . . . . .	273
15.8 Робітник 19 століття . . . . .	274
15.9 Сучасний верстат . . . . .	275
15.10 Сучасний цех . . . . .	277

## Перелік таблиць

2.1	Металорізальні інструменти . . . . .	34
5.1	Інструментальні сталі . . . . .	90
5.2	Хімічний склад вуглецевих сталей . . . . .	91
5.3	Інструмент з вуглецевої сталі . . . . .	93
5.4	Позначення легуючих елементів . . . . .	94
5.5	Малолеговані сталі . . . . .	95
5.6	Малолеговані сталі . . . . .	96
5.7	Швидкорізальні сталі . . . . .	98
5.8	Швидкорізальні сталі . . . . .	99
5.9	Застосування твердого сплаву . . . . .	106
5.10	Інструментальні матеріали . . . . .	112
6.1	Форми заточування різців . . . . .	120
8.1	Форми підточки свердла . . . . .	146
8.2	Основні типи зенкерів . . . . .	151
9.1	Протяжні верстати . . . . .	170
9.2	Одинарна схема різання . . . . .	173
9.3	Подача на зуб . . . . .	177
11.1	Типи стандартних фрез . . . . .	204
13.1	Набори дискових модульних фрез . . . . .	231
13.2	Затилування . . . . .	236
15.1	Задачі інструментального забезпечення . . . . .	278
15.2	Класифікація інструменту . . . . .	279

---

Не буде країн багатих та бідних –  
будуть країни освічені та ті що  
потопають у неучті.

*Ф.У.Тейлор*

## Вступ

У конспекті розглянуто основні відомості відносно металорізального інструменту базових конструкцій. Наведено основні параметри та галузь застосування.

За можливістю кожен інструмент супроводжує коротка історична довідка його виникнення. Не треба вважати, що весь сучасний інструмент з'явився одразу в сучасній конструкції. Багато інструментів, котрі застосовують на сучасних верстатах оснащених комп'ютерним керуванням, насправді існувало ще задовго до появи електрики та механізмів які називають верстатами.

Історія виникнення і розвитку металорізальних інструментів невід'ємна від історії виникнення і розвитку не тільки машинобудування та металообробка, але і цивілізації людства.

Особливо інтенсивний розвиток розрахунків і конструювання металорізальних інструментів отримали в XX столітті [1, 2]. З одного боку це пов'язано з бурхливим розвитком машинобудівного виробництва та з усе зростаючими потребами в точному продуктивному інструменті, з іншої – з розвитком науки про різання металів.

Як не прикро, але сучасне інструментальне виробництво зобов'язано своїм розвитком американському інженеру Тейлору<sup>1</sup> Фредеріку Уїнслоу (рис.0.1) який працював на межі ІХХ та ХХ століть [3].



Рис. 0.1: Тейлор Ф.У.

<sup>1</sup>Тейлор Ф.У. (20.03.1856 – 21.03.1915 р.) Президент Американської спілки інженерів-механіків. Засновник "Спілки сприяння науковому менеджменту".



Тейлор був першим хто застосував більш-менше наукові принципи в організації інструментального забезпечення виробництва. В часи Тейлора ніяких “нормативів” не існувало. Кожний робітник сам вирішував як обробляти деталь і скільки часу на це потрібно. Одним словом – як хотів, так і робив. Тейлор же запровадив те, що у сучасному виробництві називають нормативами різання та часу<sup>2</sup>.

Сучасне інструментальне виробництво розвивається по двох основних напрямках:

- виробництво стандартного інструменту на спеціалізованих підприємствах;
- виробництво спеціального інструменту в інструментальних цехах металообробних заводів.

Про те, наскільки складним є забезпечення інструментом сучасного виробництва, говорить той факт, що для виготовлення автомобіля потрібно близько 40 тисяч найменувань інструментів.

Рівень розвитку інструментального виробництва будь-якої держави характеризується наступними особливостями:

- використання прогресивних технологічних процесів:
  - високотемпературні;
  - електрохімічні;
  - ультразвукові;
  - лазерні;
  - плазмові.
- використання передових методів організації праці, а саме:
  - предметний – забезпечення заданого обсягу виробництва продукції необхідної якості в необхідний строк;
  - економічний – досягнення мети діяльності за максимальної економічної віддачі;
  - соціальний – у загальному значенні це розвиток і реалізація трудового потенціалу працівника.
- комплексна механізація і автоматизація виробництва, яка буває:

---

<sup>2</sup>За що був зненавиджений тодішніми профсоюзами та робітниками, котрі не дуже переймалися працею.

- часткова – передбачає автоматизацію основних виробничих процесів,
- комплексна – передбачає автоматизацію не тільки процесу виробництва, але й процесів керування й обслуговування,
- повна – передбачає автоматизацію всіх основних і допоміжних процесів.

Успішний розвиток інструментального виробництва немислимий без серйозного наукового забезпечення. Інструмент – досить складний науково-технічний об'єкт, який включає в сферу своїх інтересів такі дисципліни як математику, фізику, термодинаміку, металознавство, теорію машин і механізмів, ЕОМ і цілий ряд інших наукових дисциплін. - вдосконалення методів контролю.

Треба розуміти, що рівень розвитку техніки (а загалом і рівень життя) залежать від того, яким інструментом користуються на виробництві. Адже все, що створено навколо нас зроблено за допомогою інструменту. Не має значення що це, автомобіль чи кулькова ручка. Все одно для їх виготовлення потрібен інструмент. Навіть для виготовлення верстатів, котрі виготовляють верстати, потрібен інструмент.

Отже, рівень життя суспільства залежить від інструменту яким воно користується.

**“Спеціалісти”** котрі схильні до гучних слів, але мало тямлять в інструменті, стверджують що головним є “хай-технології”. Але коли у вас замість інструменту – сокира, то і технологія буде сокирою.

## Література

- [1] Грановский Г.И. Русские ученые – основоположники науки о резании металлов./ Г.И.Грановский. - М.: Машгиз, 1952. - 418 с.
- [2] Резание металлов / [Г.И.Грановский, П.П.Грудов, В.А.Кривоухов та ін.]. – Москва: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1954. – 472 с.

- [3] Тейлор Ф. Искусство резать металлы / Ф. Тейлор. – Спб.: Издание инженера Л.А.Левинстерна, 1909. – 324 с.

Шляхи людські неосяжні.  
А всесвіт необмежений – ні  
простором, ні часом.

*В.І.Солодкий*

## **1 Тематика лекційних занять**

### **1.1 Загальні питання та інструментальні матеріали**

**Лекція 1.** Загальні питання інструментального виробництва. Інструментальні матеріали. Інструментальні сталі: вуглецеві, леговані, швидкорізальні. Склад, фізико-механічні властивості, основні марки, область застосування. Металокерамічні тверді сплави. Мінералокераміка. Надтверді матеріали (синтетичні алмази та кубічний нітрид бору). Композити. Склад, фізико-механічні властивості, основні марки, область застосування. Абразивні матеріали, природні та синтетичні. Система маркування. Хімічний склад. Основи технології їх отримання. Твердість, стійкість, міцність, пористість. Основні марки. Область застосування.

СРС: Вивчення існуючих марок інструментальних сталей та їх хімічний склад. Вивчення існуючих марок твердих сплавів, мінералокераміки та синтетичних інструментальних матеріалів, їх хімічний склад, властивості.

Література: [1] стор. 2...26, 39...55 [5] стор. 337...341, [10] стор. 5...21, [7] стор. 12...14, [12] 30...50. [5] стор. 341...357, [11]

### **1.2 Різці**

**Лекція 2.** Різці звичайні. Призначення та основні типи. Нормувальні площини. Геометричні параметри різця. Канавки для подрібнення стружки. Кути нормальні, поперечні, поздовжні. Кут нахилу різальної кромки. Визначення геометричних параметрів графічно та аналітично.

СРС – Конструкція стандартних токарних різців: прохідні, підрізні, відрізні, прямі, відігну-ті, цільні та збірні. Конструкція різців що застосовуються в автоматизованому виробництві.

Література: [1] стор. 56...76, [4] стор. 12...40, [7] 26...34.

**Лекція 3.** Фасонні різці, класифікація, області застосування. Круглі та призматичні фасонні різці. Графічне та аналітичне профілювання круглих та призматичних, радіальних різців. Геометричні параметри ріжучої частини. Зміна кутів вздовж різальної кромки. Базові конструкції різцетримачів. Методи загострення та контролю.

СРС – Конструкція стандартних елементів фасонних різців: хвостовики, оправки, опорні та торцеві зубці. Конструкція стандартних різцетримачів.

Література: [1] стор. 76...103, [4] стор. 40...49.

**Лекція 4.** Фасонні тангенційні різці. Графічне та аналітичне профілювання тангенційних різців. Геометричні параметри ріжучої частини. Зміна кутів вздовж різальної кромки. Методи загострення та контролю. Різці для автоматизованого виробництва. Варіанти кріплення ріжучих пластин.

СРС – Конструкція стандартних елементів фасонних тангенційних різців: хвостовики, регулювання положення різця. Конструкція стандартних різцетримачів.

Література: [1] стор. 76...103, [4] стор. 40...49.

## 1.3 Свердла

**Лекція 5.** Свердла: перові, спіральні, кільцеві, для глибоких отворів, твердосплавні. Призначення та основні типи. Способи видалення стружки. Геометрія ріжучої частини свердла. Спіральне свердло, кути: передні, задні, нормальні, циліндричні, нахилу канавки; їх зміна вздовж різальної кромки та визначення; форма різальної кромки, стружкової канавки.

СРС – Конструкція стандартних елементів свердел: хвостовики, конуса Морзе та метричні конуса. Конструкція кільцевих, перових та центрувальних свердел.

Література: [1] стор. 104...128, [4] стор. 50...90, [7] стор. 40...43.

**Лекція 6.** Спрощений розрахунок конструктивних параметрів стандартного спірального свердла та дискового інструменту для утворення його гвинтових канавок. Способи загострення свердел. Загострення по двом площинам; установчі параметри, їх визначення, графічно та аналітично. Спосіб загострення по прямому

конусу (Уошборна), по зворотному конусу (Вейкерса), по циліндру (Блау); основні установчі параметри, вплив на геометричні параметри свердла. Характер розподілу величин задніх та передніх кутів вздовж різальної кромки залежно від типу загострення.

СРС – Форми підточки різальної частини.

Література: [1] стор. 104...128, [4] стор. 50...90.

## 1.4 Зенкери та розвертки

**Лекція 7.** Зенкери та розвертки. Призначення, типи, геометричні параметри. Конструктивні особливості зенкерів для: збільшення розміру отвору, торцеві, конічні, зенковки. Конструктивні особливості розверток: регульованих, спеціальних. Схеми загострення. Способи доводки. Спеціальна форма забірної частини. Особливості плаваючих розверток. Геометричні параметри на головних ріжучих кромках та допоміжних.

СРС – Конструкція цільних та насадних зенкерів. Конструкція розверток що регулюються за діаметром. Хвостовики та патрони для кріплення зенкерів та розверток. Розвертки та зенкери із змінними ножами. Плаваючі конструкції хвостовиків.

Література: [1] стор. 128...144, [4] стор. 91...135, [7] стор. 40...43.

## 1.5 Протяжки

**Лекція 8.** Протяжки, прошивки. Призначення та основні типи – круглі, шпонкові, шліцьові, багатогранні, фасонні. Внутрішні та зовнішні протяжки. Профіль зубців та впадини протяжки, їх основні конструктивні залежності. Призначення та розрахунок основних елементів протяжки – хвостовики, різальна та калібруюча частини. Схеми зрізання припуску. Крок зубів. Коефіцієнт заповнення стружкових канавок. Послідовність розрахунку протяжки для обробки отворів різного профілю.

СРС – Конструкція протяжок для круглих отворів; для багатограних отворів; шпонкових та шліцьових. Конструкція протяжок для зовнішніх поверхонь; конструкція аплікаторів, схеми регулювання висоти різальної частини. Застосування опорних столів.

Література: [1] стор.196...226, [4] стор. 484...551.

**Лекція 9.** Протяжки евольвентні, гострошліцьові. Особливості їх призначення, виготовлення та проектування. Деформуючі та комбіновані протяжки. Схема роботи деформуючого елемента. Поняття натягу, усадки та розбивки отвору. Геометричні параметри деформуючого елемента. Деформуюче-ріжучі та ріжуче-деформуючі протяжки. Деформаційна хвиля. Послідовність розрахунку деформуючих та комбінованих протяжок для обробки отворів. Зовнішні протяжки. Особливості застосування протяжок в автоматизованому виробництві.

СРС – Конструкція деформуючих протяжок, форма деформуючих кілець, схеми подачі ЗОР.

Література: [1] стор.212...213, [4] стор. 514...516.

## 1.6 Інструмент для утворення різьби

**Лекція 10.** Інструмент для нарізання різьби. Різьбові різці та гребінки, їх конструктивні параметри. Кінематика процесу обробки, схеми зрізання припуску. Корегування профілю різьбового різця. Мітчики, забірна частина, геометрія забірної частини. Схеми затилування забірної частини, задні кути забірної частини. Калібрувальна частина мітчика та її затилування по колу. Основні конструктивні розміри мітчиків та гребінок.

СРС – Конструкція різьбових різців (круглі, призматичні, гвинтові) та їх оправок. Конструкція мітчиків: ручні, механічні, трубчаті, гаєчні. Схеми їх роботи. Конструкція різьбових гребінок. Форма стружкових канавок.

Література: [1] стор. 227...246, [4] стор. 216...263.

**Лекція 11.** Плашки. Схема зрізання припуску, заборний конус. Основні конструктивні розміри плашки круглої. Способи заточки плашок. Різьбові фрези та різьбові головки; конструкція, геометричні параметри. Різьбонакатні інструменти: плоскі плашки, ролики; кінематичні схеми накатування різьби. Способи налагодження головок різьбових.

СРС – Конструкція плашок круглих. Конструкція різьбових головок: радіальних, тангенційних, з круглими гребінками. Конструкція різьбових накатників.

Література: [1] стор. 247...267, [4] стор. 264...275, [7] 34...40.

## 1.7 Інструмент що працює методом обкатки

**Лекція 12.** Основні типи деталей що можуть бути оброблені за методом обкатки. Схеми роботи обкатного інструмента. Обкатні різці, схема роботи, основні конструктивні ознаки. Профілювання графічне та графоаналітичне. Кути різання обкатних різців.

СРС – Конструкція обкатних різців.

Література: [1] стор. 272...317, [4] стор. 389...409, [7] 34...40.

**Лекція 13.** Гребінки для неевольвентних профілів. Особливості конструкції та застосування. Форма передньої та задньої поверхонь. Профілювання графічне та графоаналітичне. Кути різання гребінок.

СРС – Конструкція гребінок. Способи їх кріплення.

Література: [1] стор. 272...317, [4] стор. 389...409, [7] 34...40.

**Лекція 14.** Довбачі для неевольвентних профілів. Особливості конструкції та застосування. Форма передньої та задньої поверхонь. Графічне та графоаналітичне профілювання. кути різання довбача. Умови формування при обробці фасонних профілів.

СРС – Конструкції стандартних довбачів.

Література: [1] стор. 272...317, [4] стор. 389...409, [7] 34...40.

**Лекція 15.** Фрези черв'ячні для неевольвентного профілю. Особливості конструкції та застосування. Фрези постійної установки. Графічне профілювання методом загальних нормалей.. Перехідна крива та підрізання ніжки шліцьового зубця (фрези з вусиком та без вусика). Визначення розміру початкового кола. Заміна профілю частиною кола. Загострення фрез.

СРС Конструкція черв'ячні для неевольвентного профілю цільних та із змінними різальними елементами. Фрези з твердосплавними ножами.

Література: [1] стор. 283...300, [4] стор. 296...342, [7] 34...40.

**Лекція 16.** Інструменти ротаційної обробки. Ротаційне утворення різьби. Схеми утворення шліцьових валів методом ротаційного точіння. Ротаційне точіння зубчастих коліс. Ротаційна обкатка роликами та шариками.

СРС – Конструкція ротаційного інструмента. Ротаційні головки та ротаційні дискові головки охоплювальної конструкції.



Література: [8] стор. 14...52, 296...342.

## 1.8 Абразивний інструмент

**Лекція 17.** Абразивні інструменти. Кінематика круглого зовнішнього шліфування. Глибинне та врізне шліфування. Шліфувальні жорсткі та еластичні круги, головки, стрічки, хонінгувальні головки, пасти. Маркування абразивних інструментів. Правка. Абразивні інструменти із синтетичних алмазів та кубічного нітриду бора. Типи, маркування. Зв'язки: органічні, металічні, керамічні. Области застосування.

СРС – Форма абразивних кругів та їх маркування. Сегменти, шліфувальні головки, бруски, шкурки та пасти. Конструкція оправок для кріплення абразивного інструмента. Способи балансування. Пристрої для правки абразивних кругів.

Література: [1] стор. 395...415, [10] стор. 21...62.

## 1.9 Фрези стандартні

**Лекція 18.** Фрези. Призначення і типи фрез: дискові, циліндричні, кутові, торцеві, пили, кінцеві. Конструктивні особливості. Твердосплавні фрези. Фрези з механічним кріпленням змінних ріжучих пластин. Форма зуба фрези. Геометричні параметри. Кінематика процесу фрезерування. Основні етапи проектування та розрахунку інструмента стандартної конструкції.

СРС – Конструкції фрез стандартних типів. Оправки, шпонки для кріплення фрез. Конструкція хвостовиків фрез. Конструкція фрез дискових, циліндричних, кутових, торцевих, пил. Способи кріплення різального елемента: пайка та механічне кріплення.

Література: [1] стор. 145...161, [4] стор. 153...202, [7] стор. 34...40.

## 1.10 Фрези фасонні гострозаточені

**Лекція 19.** Дискові фасонні фрези гострозаточені, конструктивні особливості. Визначення профілю різальної кромки графічно та аналітично. Коефіцієнт корекції профілю фрези. Методи загострення фрези, визначення профілю копіювального кулачка. Основні конструктивні розміри.

СРС – Конструкції цільних та збірних фасонних гострозаточених фрез. Схеми кріплення вставних різальних елементів та їх опорних елементів. Схеми та конструкції пристроїв для їх загострення по профілю.

Література: [1] стор. 306...317, [4] стор. 389...409, [7] 34...40.

**Лекція 20.** Фрези кінцеві фасонні гострозаточені, конструктивні особливості. Визначення профілю різальної кромки графічно та аналітично. Загострення, профіль кулачка. Основні етапи розрахунку інструмента стандартної конструкції.

СРС – Конструкції цільних та збірних фасонних гострозаточених фрез. Схеми кріплення вставних різальних елементів та їх опорних елементів. Схеми та конструкції пристроїв для їх загострення по профілю.

Література: [1] стор. 306...317, [4] стор. 389...409, [7] 34...40.

## 1.11 Фрези фасонні затиловані

**Лекція 21.** Поняття про затилювання. Типи кривих затилювання. Затилування по прямій. Затилування по спіралі Архімеда. Побудова спіралі Архімеда. Властивості спіралі Архімеда. Формула затилювання. Характеристики затилювання різцем та кругом. Дискові фасонні затиловані фрези, область їх застосування. Одинарне, подвійне, нахилене затилювання. Геометрія задньої поверхні фасонних затилованих фрез.

СРС – Конструкції цільних та збірних фасонних затилованих фрез. Способи кріплення різальних елементів: пайка, рифлення, механічне кріплення.

Література: [1] стор. 162...195, [4] стор. 203...215.

**Лекція 22.** Фрези дискові фасонні затиловані. Визначення профілю різальної кромки графічно та аналітично. Визначення профілю осевого січення затиленої фрези. Основні етапи розрахунку інструмента загальної конструкції.

СРС – Стандартні конструкції дискових затилованих фрез. Особливості конструктивних елементів. Способи кріплення різальних елементів: пайка, рифлення, механічне кріплення.

Література: [1] стор. 162...195, [4] стор. 203...215.

**Лекція 23.** Заточка затилованих фрез. Вплив способу загострення на зміну профілю деталі. Загострення при огинанні циліндра.

Методи загострення при збереженні постійної величини переднього кута. Методи загострення із збереженням простійного профілю деталі. Розрахунок установчих параметрів

СРС – Конструкції пристроїв для заточки фрез.

Література: [1] стор. 162...195, [4] стор. 203...215.

**Лекція 24.** Затилювання по колу; з технологічним корпусом, з поворотним зубом. Характеристика схем затилювання різцем, визначення профілю різця. Інструмент для затилювання, різці та абразивні круги. Затилювання абразивним кругом, визначення профілю круга.

СРС – Основні конструктивні ознаки технологічного корпусу для затилювання по колу. Конструкція пристроїв для фасонної правки абразивного круга.

Література: стор.162...200.

**Лекція 25.** Фактори що впливають на працездатність роботи затилюваних фрез. Похибки проектування та експлуатації. Методи підвищення точності профілю деталі при фасонному фрезеруванні.

СРС – Конструкція пристроїв для затилювання. Конструкція пристроїв для фасонної правки абразивного круга.

Література: [9] стор.10...17, 19...32 58...62.

## 1.12 Інструмент для обробки зубчатих коліс

**Лекція 26.** Евольвентне зачеплення, графічна побудова евольвенти, її рівняння, інволюта. Кут тиску, зчеплення. Нормаль та дотична до евольвенти, їх властивості. Поняття про початкову рейку. Схеми утворення евольвенти (Пфаутер, Мааг, Більграм). Загальний огляд інструмента для нарізання зубчастих коліс.

СРС – Основні конструкції зуборізного інструменту.

Література: [1] стор. 294–301

**Лекція 27.** Модульні фрези, дискові та кінцеві. Набори фрез та їх маркування. Фрези цільні та збірні. Визначення фрез для косо-зубого колеса. Основні етапи розрахунку інструмента стандартної конструкції.

СРС – Конструкція стандартних модульних фрез. Способи кріплення різальних елементів.

Література: [1] стор.301...305.

**Лекція 28.** Фрези черв'ячні для зубчатих коліс. Принцип дії. Типові конструкції. Конструктивне оформлення зуба фрези. Затилювання черв'ячних фрез. Фрези літучки. Нарізання черв'яків та черв'ячних коліс. Основні етапи розрахунки інструмента стандартної конструкції.

СРС – Конструкція стандартних черв'ячних фрез. Способи кріплення різальних елементів. Збірні фрези.

Література: [1] стор. 309...324.

**Лекція 29.** Довбачі, область застосування, принцип дії, типи та особливості. Значення конструктивних елементів. Форма передньої та задньої поверхонь. Способи утворення задньої поверхні. Визначення радіуса кола для заточки довбача. Поняття про зміщення початкового контуру, початкова відстань. Основні етапи розрахунки інструмента стандартної конструкції. Підточка довбача по передній поверхні. Поняття про новий та заточений довбач. Заточка довбача.

СРС – Конструкція стандартних довбачів. Способи кріплення довбача на верстаті.

Література: [1] стор. 324–337.

**Лекція 30.** Зуборізні гребінки, особливості конструктивного оформлення. Типи Мааг та Пфаутер. Геометричні параметри стандартної гребінки. Форми підточки зуба гребінки, їх вплив на форму різальної кромки інструмента. Основні етапи розрахунки інструмента стандартної конструкції.

СРС – Конструкція стандартних гребінок. Способи кріплення на верстаті. Конструкція цільних та збірних інструментів.

Література: [1] стор. 304–309.

**Лекція 31.** Інструменти для чистової обробки циліндричних коліс: шевери-рейки, дискові шевери, зубчасті хони. Принцип дії. Конструктивні особливості. основні етапи проектування стандартної конструкції. Основні етапи розрахунки інструмента стандартної конструкції.

СРС – Конструкція стандартних шеверів. Способи їх кріплення на верстаті.

Література: [1] стор. 352...366, [4] стор. 296...342.

**Лекція 32.** Конічні колеса: прямозубі та з криволінійним зубом. Інструменти для обробки прямозубих та кривозубих конічних коліс. Схеми нарізання конічних коліс: фасонним інструментом по шаблону, методом обкочування. Поняття про плоске коло і його типи та схеми утворення. Плосковершинне коло, схеми утворення. Зубостругальні різці: їх форма та стандартна геометрія, маркування та призначення. Різцеві головки: конструктивні ознаки, стандартна геометрія, маркування. Кругові протяжки: конструктивні особливості, область застосування.

СРС – Конструкція різцевих головок. Конструкція кругових протяжок для обробки конічних коліс. Конструкція зубостругальних різців.

Література: [1] стор.367...394, [4] стор. 426...434.

## **1.13 Інструментальне забезпечення автоматизованого виробництва**

**Лекція 33.** Класифікація систем інструмента для автоматизованого виробництва. Інструмент, що застосовують для обробки отворів та фрезеруванні. Загальні питання настроювання інструмента безпосередньо під час роботи. Конструкції інструмента різцевої групи. Конструкції осьового інструмента для розмірного настроювання поза верстатом. Конструкції фрезерного інструмента.

СРС – Конструкція пристроїв для розмірної настройки інструмента.

Література: [13] стор. 31...44, [2] стор. 39...50.

**Лекція 34.** Допоміжний інструмент в автоматизованому виробництві. Типи допоміжного інструмента. Допоміжний інструмент по Держстандарту 24900-81. Системи допоміжного інструмента для верстатів токарської свердлильної і фрезерної груп. Прискорювачі обертання. Допоміжний інструмент для видалення стружки. Дозатори. Перспективи розвитку допоміжного інструмента в автоматизованому виробництві.

СРС – Конструкція допоміжного інструмента. Конструкція прискорювачів, дозаторів, кутових головок, головок для видалення стружки. Стандартні оправки для кріплення різців та осьового інструмента.

Література: [6] стор. 29...44, 99...125.

**Лекція 35.** Основні питання які вирішуються при розробці інструментального забезпечення автоматизованого виробництва. Розробка пропозицій що до вибору режимів різання. Принципи розробки методів подрібнення стружки. Питання зміцнення інструмента. Нетрадиційні методи зміцнення інструмента. Автоматизований і безупинний контроль інструмента. Питання складування інструмента. Загальні конструктивні особливості інструменту застосовуваного в автоматизованому виробництві.

СРС – Загальні конструкції інструмента у автоматизованому виробництві.

Література: [15] стор. 74...83. [2] стор. 7...37, стор. 5...23, [14] стор. 4...25, 37...54.

**Лекція 36.** Сучасні системи що застосовуються для розмірного настроювання інструмента. Модульні системи інструмента. Огляд конструкцій і характеристик вітчизняних і закордонних модульних систем інструмента, що застосовуються в інструментальному забезпеченні автоматизованого виробництва. Системи маркування інструмента.

СРС – Сучасна технічна література.

Література: [2] стор. 2...35, 45...52, 73...94, [13] стор.4...48.

## Література

- [1] Родін П.Р. Металлорежущие инструменты. - К.: Вища школа, 1986. - 656 с.
- [2] Инструменты из сверх твердых материалов. Под ред. Новикова Н.В. Киев, 2001, 258 .с
- [3] Родін П.Р., Бугай Ю.М., Равська Н.С. та ін. Металорізальні інструмента, Частина 1, Київ,1992, 226 с.
- [4] Родін П.Р., Бугай Ю.М., Равська Н.С. та ін. Металорізальні інструмента, Частина 2 , Київ,1993, 178 с.
- [5] Родін П.Р., Равська Н.С., Ковальова Л.І., Родін Р.П. Різальний інструмент у прикладах і задачах. Київ, "Вища школа", 1994, 294.с.

- [6] Сафраган Р.Э. Модульное оборудование для ГПС. К.: 1989 с.298/
- [7] Равська Н.С., Родін П.Р., Мельничук П.П., Солодкий В.І., Родін Р.П. Різальний інструмент. Лабораторний практикум. – Житомир, ЖІТІ, 2002 – 298 с.
- [8] Браславский И.Н. Ротационная обработка фасонных деталей. - М.: Высшая школа. 1965 - 466 с.
- [9] Деркач Ю.А. Фрезы затылованные. Кременчуг, 2007 –158 с.
- [10] Семенченко И.И., Матюшин В.М., Сахаров Г.Н., Проектирование металлорежущих инструментов. - М.: Машгиз, 1962. - 952 с.
- [11] Четвериков С.С. Металлорежущие инструменты. - М.: Высшая школа. 1965 - 731 с.
- [12] Справочник инструментальщика - конструктора. /В.И. Климов, А.С. Лернер, М.Д. Пекарский и др. - М.: Машгиз, 1958. - 608 с.
- [13] Розенберг А.М., Розенберг О.А. Механика пластического деформирования в процессах резания и деформирования в процессах резания и деформирующего протягивания. - К.: Наукова думка, 1990. - 320 с.
- [14] Кислов В.В., Кузьменко С.Н. Развитие техники резания на Украине с древнейших времен до начала XX века. - К.: Институт сверхтвердых материалов им В.Н. Бакуля, 1992. - 56 с.
- [15] Лезвийный инструмент из сверхтвердых материалов: Справочник / Н.П. Винников, А.И. Грабченко, Э.И. Гриценко и др. - К.: Техніка, 1988 - 118 с.

У навчанні не можна зупинятися.

*Сюнь-Цзи*

## 2 Класифікація інструментів

Різальний Інструмент це – знаряддя праці, яке використовують в робочій машині для зміни стану предмета праці. Інструментом оснащують будь-яку робочу машину. Інструмент металорізального верстата називають металорізальним або просто різальним інструментом. Він змінює форму предмета праці (оброблювану заготовку) і забезпечує якість оброблених поверхонь шляхом зняття стружки в процесі обробки заготовки.

Таким чином, хоч це і банально, але різальний інструмент передусім повинен різати, причому не просто різати, а й забезпечити необхідні розміри і якість оброблених поверхонь. Якщо хоч одна з цих двох вимог (різати і забезпечувати необхідну якість обробки) інструментом не забезпечується, то його взагалі не можна назвати інструментом.

Вказані вимоги обов'язкові, але недостатні. Інструмент має бути ще і найвигіднішим, або оптимальним. Необхідно, щоб він забезпечив мінімальні витрати суспільно необхідної праці на операції його використання. Це означає, що приведені витрати на операції використання інструменту, а саме:

- заробітна плата оператора (робітника що стоїть за верстатом)
- перенесена на операцію частина заробітної плати персоналу обслуговуючої сфери виробництва
- частину вартості будівель, споруд
- опалювання, освітлення, силової електроенергії
- вартість самого інструменту

мають бути мінімальними. Останнє можливо, якщо інструмент має наступні властивості:

- високою продуктивністю;
- малою енергоємністю різання;
- високою економічністю.



Класифікація металорізальних інструментів складна [1, 2, 3, 4]. Це пояснюється великою різноманітністю їх конструкцій, видів обробки, а також використанням для обробки різних поверхонь інструментів одного найменування.

Так різці застосовують для точіння зовнішньої поверхні, для нарізування різьби, для оброблення отворів, для стругання зубів зубчастих коліс.

У свою чергу, наприклад отвори, можуть бути оброблені такими різними інструментами як свердло і протяжка.

В той же час, окрім класичного використання інструментів на металорізальних верстатах, до металорізальних інструментів слід віднести штампи для холодного штампування і електроди для обробки металів на електроерозійних верстатах. Усе це дуже ускладнює класифікацію. Тому з практичної точки зору, для чіткого уявлення про основні інструменти, в її основу покладено два принципи:

- специфічні оброблювані поверхні;
- конструкція найчастіше вживаних інструментів.

Незважаючи на певну умовність такої класифікації, вона дозволяє в досить повному об'ємі представити металорізальний інструмент в усьому його різноманітті. Основними групами в такій класифікації є:

- інструменти для оброблення отворів;
- інструменти для утворення різьби;
- інструменти для утворення зубчастих зачеплень;
- інструменти для оброблення фасонних поверхонь методом обкатки.

Інструменти, що не увійшли до цих чотирьох груп, об'єднані в групу інструментів загального призначення. Окремі групи утворюють такі специфічні інструменти як:

- абразивні інструменти;
- інструменти із надтвердих синтетичних матеріалів.

У кожній з цих груп інструменти класифікуються по конструкції: різці, фрези, свердла, розгортки, мітчики, довбачі і так далі (табл.2.1). Уся ця різноманітність видів і конструкцій інструментів викликана різними вимогами до інструменту, різноманітними формами і розмірами оброблюваних деталей, різними типами металорізальних верстатів, особливостями виробництва.

Табл. 2.1: Металорізальні інструменти

Загального призначення	Оброблення отворів	Оброблення різьби	Зубчасті колеса	Оброблення за методом обкатки	Абразиви	Надтверді синтетичні матеріали
<ul style="list-style-type: none"> <li>- різці</li> <li>- фрези<sup>a</sup></li> <li>- протяжки<sup>b</sup></li> <li>- напилки</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- свердла</li> <li>- зенкери</li> <li>- розточні різці</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- різьбові різці</li> <li>- гребінки</li> <li>- мітчики</li> <li>- плашки</li> <li>- різьбові фрези</li> <li>- різьбові головки</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- дискові модульні<sup>c</sup> фрези</li> <li>- пальцеві модульні фрези</li> <li>- зубодовб. головки</li> <li>- черв'ячні фрези</li> <li>- гребінки</li> <li>- довбачі</li> <li>- шевери</li> <li>- зубоструг. різці</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- черв'ячні шліцові фрези</li> <li>- обкатні різці</li> <li>- обкатні довбачі</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- круги<sup>d</sup></li> <li>- бруски</li> <li>- порошки</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- різці</li> <li>- круги</li> <li>- порошки</li> <li>- олівці</li> </ul>

<sup>a</sup> дискові, кінцеві, шпонкові, відрізні.

<sup>b</sup> круглі, шліцові, шпонкові.

<sup>c</sup> термін "модульний" походить від модулю зубчастого зачеплення.

<sup>d</sup> заточні, шліфувальні.

**Критерій якості інструменту** – це мінімум затрат на операції його використання.

Цей критерій органічно об'єднує усі властивості інструменту, умови його функціонування і не суперечить основній меті виробництва. у зв'язку з чим є об'єктивним і несуперечливим.

Подібних методик оптимізації конструкцій інструментів, умов його виготовлення і функціонування доки немає. Тут мають бути строги економічні розрахунки. На стадії проектування спрощено, але з достатньою мірою точності мінімальні приведені витрати  $G$  в грошовому вираженні можна визначити як суму статей витрати на одну оброблену деталь або операцію :

$$G = Z_{\text{роб}} + N_z + V_{\text{tool}} + V_{\text{solar}}$$

де  $Z_{\text{роб}}$  – заробітна плата оператора, що виконує роботу інструментом;

$N_z$  – накладні затрати;

$V_{\text{tool}}$  – витрати на різальний інструмент і підтримку його працездатності;

$V_{\text{solar}}$  – витрати силової електроенергії.

**Висока продуктивність** – це великий об'єм стружки, знятої в одиницю часу, тобто велика кількість деталей, оброблених і одиницю часу.

У зв'язку з цим на виконану операцію (оброблену деталь) припадає менше заробітної плати оператора і робітників, що обслуговують виробничий процес, менше перенесена на операцію частина вартості засобів виробництва (споруд, верстата і так далі). Таким чином, висока продуктивність – дуже важлива, мабуть, найбільш важлива економічна характеристика якості різального інструменту.

У першому наближенні продуктивність інструменту може бути визначена за формулою

$$Q = t s v 1000 \text{ мм}^3/\text{хв}$$

де  $t$  – глибина різання, мм;

$s$  – подача, мм/об;

$v$  – швидкість різання, м/хв.

**Мала енергоємність різання** – це мінімальна витрата електроенергії на зняття одиниці об'єму зрізуваного припуску.

У зв'язку з високою вартістю енергоресурсів мала енергомісткість різання є другим за значністю показником якості інструменту і реалізується при мінімальних силах різання на одиницю зрізуваного шару металу.

**Економічність інструменту** визначає перенесену на операцію частину його вартості і витрат на його експлуатацію. Висока економічність досягається, якщо інструмент задовольняє наступним вимогам:

- великий термін служби (висока стійкість і велике число переточок);
- низька вартість (висока технологічність, мала витрата дорогих різальних матеріалів);
- малі витрати на відновлення різальної здатності після затуплення (простота переточувань, швидкість заміни різальних кромок або різальних пластин);
- можливість перевтілення на інший розмір або вид повністю відпрацьованого інструменту (повторне використання);
- простота збору відходів дорогих матеріалів (інструменти з механічним кріпленням різальних пластин).

Вказані властивості або часткові вимоги до інструменту:

- висока продуктивність
- мала енергоємність різання
- економічність і умови їх досягнення

справедливі і самі по собі несуперечливі.

Проте якщо доводиться поєднати їх для оцінки якості інструменту, то вони вступають в протиріччя один з одним. Наприклад, інструмент може бути високопродуктивним, але неекономічним, мати високу стійкість, але бути дорогим і так далі. Спираючись на ці показники якості, не можна дати однозначну оцінку оптимальності інструменту. Потрібні такі критерії оптимальності, які не суперечать один одному, а ще краще – один критерій оптимальності.

Оскільки головним засобом досягнення якнайповнішого задоволення матеріальних і духовних потреб людини є висока продуктивність суспільно необхідної праці у сфері трудової діяльності, то її

і слід прийняти як критерій оптимальності будь-якого рішення у сфері діяльності людини, у тому числі і для оцінки оптимальності конструкції інструменту, технології його виготовлення і умов експлуатації.

Використовуючи категорії економіки, цю економічну вимогу можна сформулювати таким чином – критерієм оптимальності конструкції інструменту, технології його виготовлення і умов експлуатації являється мінімум приведених витрат на операції використання інструменту.

## 2.1 Елементи інструментів

Різальний інструмент – це інструмент для обробки різанням. Будь-який різальний інструмент складається з корпусу, кріпильної і робочої частин.

**Корпус** різального інструменту – це частина різального інструменту, яка несе на собі всі його елементи. Зазвичай корпус виконують із конструкційної сталі. Він є проміжним елементом між різальною кромкою і верстатом

**Кріпильна** частина різального інструменту – частина різального інструменту, яка призначена для його установки і (або) кріплення в технологічному устаткуванні або пристосуванні. Її форма та розміри залежать від типу інструменту та верстату.

**Робоча** частина різального інструменту – частина різального інструменту, яка утримує леза (різальні елементи, котрих може бути декілька) .

**Лезо** інструмента – клинчастий елемент різального інструменту, для проникнення в матеріал заготовки і відділення стружки. Різальний клин (лезо) – основа конструкції будь-якого різального інструменту.

Кожен інструмент має робочу і приєднувальну частини.

**Приєднувальна частина** служить для з'єднання інструменту з верстатом. Вона має базові поверхні, якими інструмент орієнтується відносно верстата, і елементи передачі зусиль з боку верстата на інструмент.

Робоча частина відділяє від заготовлі зрізуваний шар і відводить стружку із зони різання. Багато інструментів в залежності від конструкції і призначення мають робочу частину, що складається з різальної і калібруючої.

**Різальна частина** безпосередньо відділяє зрізуваний шар, а та, що калібрує забезпечує точні розміри, форму і якість обробленої поверхні. У свою чергу, різальна частина може складатися з елементів, що послідовно виконують чорнову, напів-чистову і чистову обробку. Чим розвиненіша робоча частина, тим ефективніше різальний інструмент, здатний з високою продуктивністю забезпечити високу якість обробки.

**Калібруюча частина** виконує роботу по остаточному формуванню обробленої поверхні деталі. У загальному випадку вона зрізує стружку мінімальної товщини. Робота калібруючої частини – це фінішне обоблення деталі.

Для підвищення точності оброблених поверхонь і забезпечення необхідного розташування їх один відносно одного або базових поверхонь оброблюваної деталі, інструменти можуть мати спеціальні направляючі частини для напряму в роботі по оброблюваній деталі або пристосуванню.

Найважливішим елементом конструкції робочої частини будь-кого різального інструменту являється різальний клин (лезо). Під дією зусилля, що передається верстатом на інструмент, різальний клин проникає в оброблюваний метал і переміщається в тілі заготовки.

Одна з поверхонь під час переміщення клину в процесі різання знаходиться попереду і називається передньою. По ній сходить відокремлювана клином стружка. Інша (чи інші) знаходиться ззаду, з боку поверхні різання, і називається задньою (чи задніми).

Різальна кромка, що відділяє зрізуваний шар матеріалу по більшій стороні периметра, називається головною, оскільки виконує головну роботу різання. На відміну від неї різальну кромку, що виконує допоміжну роботу, що відділяє зрізуваний шар по товщині, називають допоміжною.

Задні поверхні різального клину, що примикають до цих кромок, дістали їх назви: задня головна, задня допоміжна, задня перехідна. Передня поверхня у різального клину одна. Її, як і задні поверхні, на відміну від інших, називають робочими поверхнями інструменту.

Різальний клин і інші елементи конструкції інструменту утворюються шляхом сполучення різних поверхонь, певним чином розташованих в просторі. Це зумовлює загальні підходи до проектування різальних інструментів усіх видів і будь-якого призначення.

За своєю конструкцією різальний інструмент може бути:

- суцільним;
- складеним або збірним;
- однолезовим або багатолезовим;
- насадним або хвостовим;
- периферійним або торцевим.

**Суцільний** різальний інструмент – різальний інструмент, виготовлений з однієї заготовки (з одного суцільного шматка інструментального матеріалу).

**Складений** різальний інструмент - різальний інструмент із не роз'ємним з'єднанням його частин і елементів. Він може бути звареним, клеєним, паяним.

**Збірний** різальний інструмент - різальний інструмент із роз'ємним з'єднанням його частин і елементів. Зазвичай вони поєднані між собою за допомогою різьбових елементів.

Різальний інструмент також може бути насадним і хвостовим. Насадний різальний інструмент – різальний інструмент з посадочним отвором. Хвостовий різальний інструмент – різальний інструмент з хвостовиком.

**Однолезовий** інструмент – інструмент для обробки одним лезом.

**Багатолезовий** інструмент – лезовий інструмент, леза якого розташовані в напрямку головного руху різання послідовно.

**Абразивний** інструмент – різальний інструмент, призначений для абразивної обробки.

Шліфувальний круг – абразивний інструмент у виді твердого тіла обертання, призначений для шліфування.

Відрізний круг (шліфувальний диск) – шліфувальний круг, призначений для абразивної відрізки й абразивної прорізки.

Абразивний брусок (брусок) – абразивний інструмент у виді твердого тіла для обробки без обертання навколо своєї осі.

## 2.2 Елементи різання

**Головний** рух різання  $D_r$  (головний рух) – обертальний рух заготовки або різального інструменту що відбувається з найбільшою швидкістю в процесі різання.

Примітка. Головний рух різання може входити до складу складного формотворного руху, наприклад при точінні різьби.

**Швидкість** головного руху різання  $v$  – швидкість розглянутої точки різальної кромки або заготовки в головному русі.

**Рух** подачі  $D_s$  – прямолінійний рух різця вздовж осі заготовки, швидкість якого менше швидкості головного руху різання, призначений для того, щоб розповсюдити відділення зрізуваного шару матеріалу на всю оброблювану поверхню.

**Швидкість** руху подачі  $v_s$  – швидкість розглянутої точки різальної кромки або заготовки в русі подачі.

**Подача**  $s$  – відношення відстані, пройденої розглянутою точкою різальної кромки або заготовки уздовж траєкторії цієї точки в русі подачі, до відповідного числа циклів або визначених часток циклу іншого руху під час різання.

Під циклом руху розуміють повний оберт, хід, або подвійний хід різального інструменту або заготовки. Для токарного різця подачу задають як подача на один оберт, наприклад  $s = 0,2$  мм/об. То б то за один оберт заготовки різець переміститься вздовж її осі на один міліметр.

На рис.2.1 показано елементи руху сучасного інструменту. На рисунку позначено:

- a* – обточування. Циліндрична деталь обертається  $D_r$  навколо своєї осі. Інструмент (токарний різець) переміщується  $D_s$  вздовж деталі маючи подачу  $v_s$ .
- б* – фрезерування зустрічне. Фреза має обертальний рух  $D_r$  та подачу  $v_s$ . Деталь рухається  $D_s$  назустріч інструменту.
- в* – фрезерування попутне. теж саме що і варіант *б*, але деталь рухається в інший бік.
- г* – фрезерування кінцевою кутовою фрезою. Така фреза утворює паз з боковими сторонами нахиленими під деяким кутом.



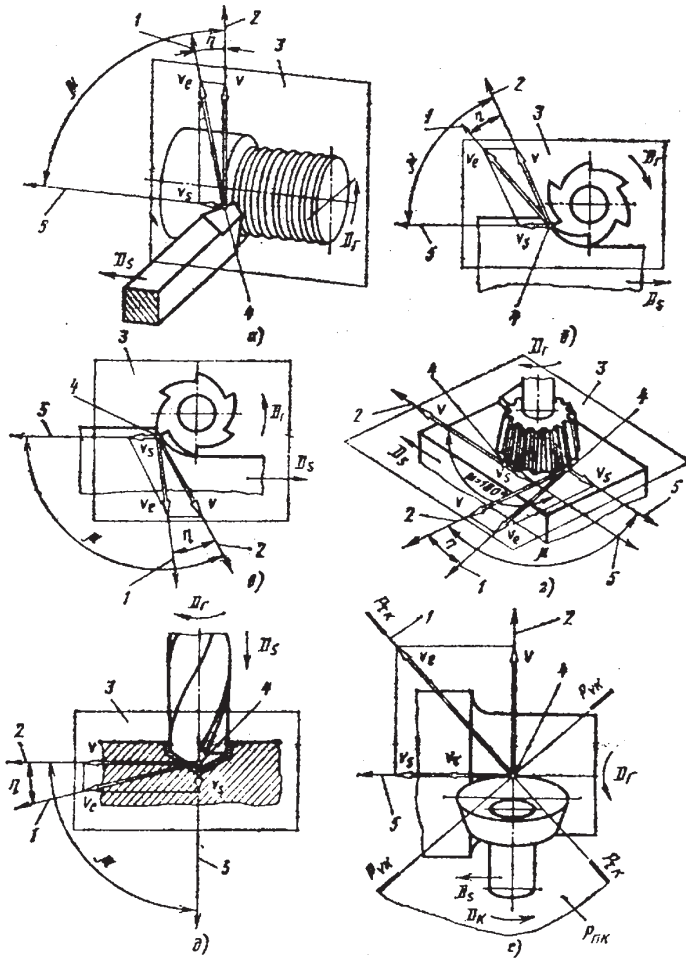


Рис. 2.1: Елементи руху

- $d$  – свердлування. Інструмент обертається  $D_r$  навколо своєї осі маючи рух подачі  $D_S$ .
- $e$  – ротаційне обточування. Це точіння чашковим різцем, котрий рухається вздовж деталі та одночасно з цим обертається навколо своєї осі (котиться).
- 1 – напрям швидкості результатного руху різання
- 2 – напрям швидкості головного руху різання
- 3 – робоча площа
- 4 – точка різальної кромки яка є дослідною у даний момент часу
- 5 – напрям швидкості руху подачі

## 2.3 Системи координат

В інструментальному виробництві розглядають [1] три системи координат:

- статичну систему координат;
- інструментальну систему координат;
- і кінематичну систему координат.

### Статична система

Статична система координат (ССК) – прямокутна система координат (рис.2.2) з початком у розглянутій точці різальної кромки, орієнтована щодо напрямку швидкості головного руху різання. Застосовується для наближених розрахунків кутів леза в процесі різання або урахування зміни цих кутів після установки інструменту на верстаті. Вона є перехідною від інструментальної системи координат до кінематичної.

### Інструментальна система

Інструментальна система координат (ІСК) – прямокутна система координат з початком у вершині леза, орієнтована щодо геометричних елементів різального інструменту, прийнятих за базу. Наприклад, це може бути задня поверхня або передня поверхня. Застосовується при виготовленні і контролі інструменту.

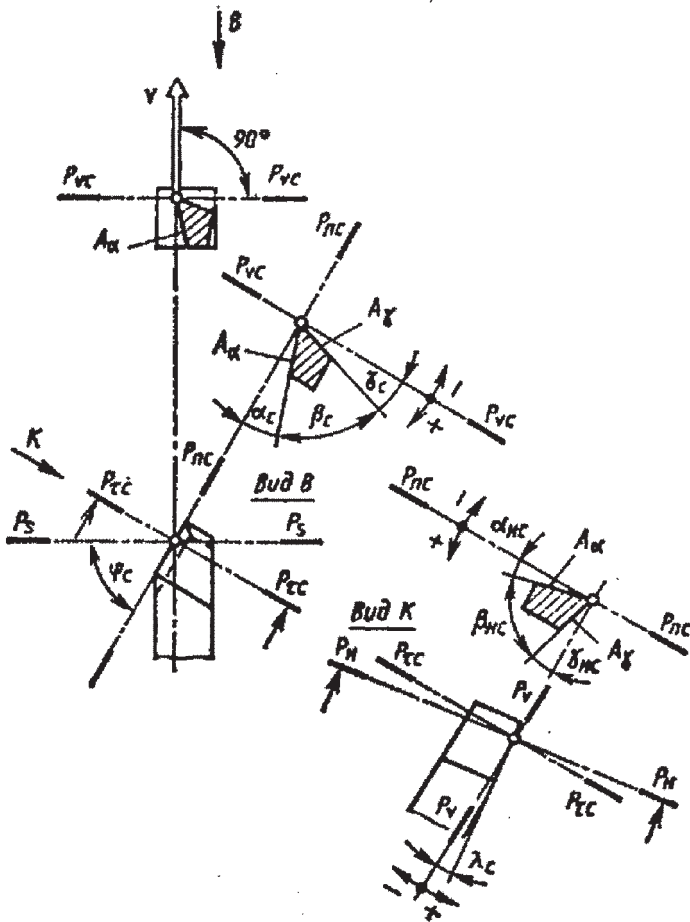


Рис. 2.2: Статична система координат

## Кінематична система

Кінематична система координат (КСК) - прямокутна система координат (рис.2.3) з початком у розглянутій точці різальної кромки, орієнтована щодо напрямку швидкості результуючого руху різання. Очевидно, що КСК повернута відносно ССК на величину кута швидкості різання. Застосовується для визначення дійсних (кінематичних) кутів леза, що утворюються в процесі різання.

## Основна площина

Основна площина  $P_v$  – координатна площина, проведена через розглянуту точку різальної кромки, перпендикулярно напрямкові швидкості головного у ССК або результуючого у КСК рухів різання в цій точці.

В інструментальній системі координат напрямок швидкості головного руху різання приймається:

- у токарних і стругальних різців прямокутного поперечного перерізу - перпендикулярно конструкторській установчій базі різця;
- у довбальних різців - паралельно базі.

## Площина різання

Площина різання  $P_r$  – координатна площина, дотична до різальної кромки у розглянутій точці і перпендикулярна основній площині. У площині різання знаходиться вектор швидкості головного руху різання у ССК або вектор швидкості результуючого руху різання у КСК .

## Головна січна площина

Головна січна площина  $P_\tau$  – координатна площина, перпендикулярна лінії перетину основної площини і площини різання.

## Нормальна січна площина

Нормальна січна площина  $P_n$  -- площина, перпендикулярна різальній кромці, у розглянутій точці. Очевидно, що нормальна січна площина повернута відносно головної січної площини на величину кута нахилу головної різальної кромки .



**Примітка.** У стандартних позначеннях координатних площин застосовуються індекси, що відповідають системі координат:

$i$  – у інструментальній системі координат ІСК;

$c$  – у статичній системі координат ССК;

$k$  – у кінематичній системі координат КСК.

Наприклад:

$P_{cv}$  – основна площа у ССК;

$P_{ck}$  – основна площа у КСК.

**Зауваження.** У курсі «Теорія різання» і технічній літературі усі позначення координатних площин у статичній системі координат прийнято застосовувати без індексу „с”. Наприклад,  $P_v$  – основна площа ССК,  $P_n$  – площа різання ССК.

## 2.4 Питання для самоконтролю

1. Назвіть інструменти загального призначення.
2. Якими різальними інструментами обробляють отвори?
3. Перелічить інструменти що застосовують для виготовлення різьби.
4. Які інструменти застосовують для утворення зубчастих коліс?
5. Наведіть приклад інструментів які працюють за методом копіювання.
6. Наведіть приклад інструментів які працюють за методом огинання.
7. Для виготовлення яких інструментів застосовують синтетичні матеріали?
8. Наведіть приклад абразивного інструменту.

## Література

- [1] ДСТУ 2233-93 Різальні інструменти. Терміни та визначення.
- [2] Ординцев И.А., Филиппов Г.В., Шевченко А.И. и др. Справочник инструментальщика. - Л.: Машиностроение, 1987. - 846 с.
- [3] Рабочие процессы высоких технологий в машиностроении / Под общ. ред. А.И. Грабченко. - Харьков: ХГПУ, 1999. - 334 с.

- [4] Равська Н.С., Родін П.Р., Ніколаєнко Т.П., Мельничук П.П.  
Основи формоутворення при механічній обробці. -Житомир:  
ЖІТІ, 2001. - 164 с.

Учням, щоб досягти успіху,  
потрібно наздоганяти тих, хто  
попереду, і не чекати тих, хто  
позаду.

*Арістотель*

### **3 Вимоги до інструментів**

Кожен інструмент в процесі різання повинен забезпечувати рішення основної задачі - якісне і продуктивне оброблення деталі [1, 2, 3, 4]. Тому до інструментів пред'являються наступні основні вимоги:

- забезпечення геометричної форми деталі;
- точність виконуваних розмірів;
- чистота оброблюваної поверхні;
- продуктивність;
- стійкість і розмірна стійкість;
- економія інструментальних матеріалів;
- технологічність конструкції;
- економічність.

Часом виконання усіх цих вимог є складним або неможливим завданням. Тоді у кожному конкретному випадку доводиться віддавати перевагу тим або іншим з них.

#### **3.1 Якість інструментів**

Якість інструментів регламентується державними стандартами, що включають технічні умови на приймання інструменту при його виготовленні [5, 6, 7]. У технічних умовах вказують:

- основні параметри інструменту,
- вимоги до чистоти поверхонь,
- до інструментального матеріалу,
- до термічного оброблення, нарешті,
- до розмірів і допусків на них,
- а також до випробувань і умов приймання.



Важливими є вимоги, що пред'являються до інструменту в процесі експлуатації. Адже, маючи добрий інструмент, ще треба вміти їм користуватись. Отже, основні вимоги до експлуатації:

- дотримання правильних геометричних параметрів різальних елементів і гостроти різальних кромки;
- застосування оптимальних режимів різання, правильна установка і закріплення інструменту на верстаті;
- відповідна підготовка деталі до обробки;
- догляд за інструментом - своєчасне переточування і правильне зберігання.

Процес експлуатації різального інструменту залежить від великої кількості факторів, що діють у виробничих умовах і мають стохастичний характер.

Для підвищення ефективності металообробки поряд з підвищенням якості різального інструмента особливого значення набуває підвищення якості процесу його експлуатації.

В основу розробки системи експлуатації різального інструменту повинні бути покладені такі принципи ISO 9000: 2000<sup>3</sup>:

- орієнтування на вимоги до процесу експлуатації інструменту, висунуті споживачами;
- визначення цілей, напрямів, завдань експлуатації інструменту на основі аналізу умов і особливостей процесу різання на верстатах;
- розгляд питань експлуатації інструменту, пов'язаних не тільки безпосередньо з обробкою деталей на верстатах, а й з інформаційними, техніко-економічними, організаційними та іншими процесами, необхідними для забезпечення раціонального використання різальних інструментів;
- визначення всіх необхідних параметрів, що забезпечують раціональну експлуатацію інструменту, встановлення механізмів взаємодії між ними.

Управління експлуатацією інструменту як єдиною системою з використанням комплексного підходу до оцінки рівня якості процесу та визначення шляхів його удосконалення;

- застосування кваліметричного підходу до кількісної оцінки яко-

<sup>3</sup> Міжнародний стандарт ISO 9000:2000 був підготовлений Технічним комітетом ISO/TC 176 "Менеджмент якості і гарантії якості", підкомітетом SC1 "Концепції і термінологія".

сті експлуатації, що полягає в побудові ієрархічної структури властивостей процесу експлуатації, визначенні їх оцінок і ваги на різних рівнях, що дозволяють отримати комплексну оцінку якості експлуатації;

- встановлення залежностей для формування цільових функцій і прийняття рішень при визначенні раціональних регламентів експлуатації інструментів з урахуванням стохастичного характеру роботи інструменту;
- визначення параметрів, керуючих якістю експлуатації.

Розроблення системи має бути орієнтовано на споживача, який спочатку формує вимоги щодо експлуатації інструменту, а потім контролює точність їх виконання.

Основною задачею інструментального господарства є організація ефективної експлуатації інструменту на підприємстві [8], що передбачає :

- своєчасне й безперервне забезпечення цехів і робочих місць основного виробництва якісним технологічним оснащенням та інструментом;
- підвищення їх якості й організація раціонального обороту , тобто зниження витрат на виготовлення , придбання, зберігання й експлуатацію;
- організація заточування й відновлення різального інструменту, ремонту оснащення та вимірювального інструменту;
- технічний нагляд.

### 3.2 Руйнування інструменту

Стан різального інструменту характеризують сукупністю значень його параметрів (наприклад, значеннями заднього й переднього кутів, величиною зношування по задній або передній поверхнях леза й ін.) у цей момент. Основні фактори непрацездатності на рис.3.1

**Зауваження.** Під зношуванням розуміють величину, що характеризує зміну форми й розмірів різальної частини інструменту (леза) внаслідок зношування при різанні

До умов оброблення відносять, наприклад, оброблюваний матеріал, технологічне устаткування, режим різання, порядок технічного обслуговування, відновлення й ремонту та ін.

До вимог оброблення відносять, наприклад, допуски розмірів, фор-

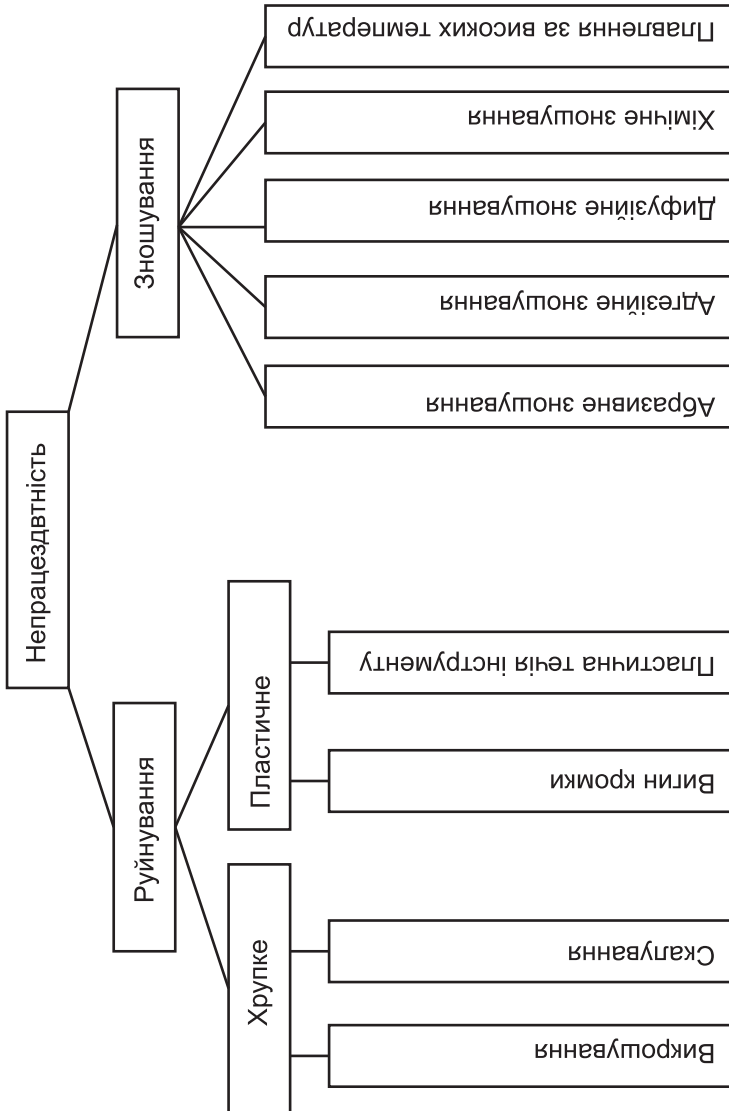


Рис. 3.1: Непрацездатність інструменту

ми взаємного розташування оброблених поверхонь, параметри шорсткості, продуктивність оброблення різанням, питомі зведені витрати на оброблення тощо.

У процесі різання інструмент втрачає свою працездатність у результаті руйнування або зношування леза.

Непрацездатним станом різального інструменту (“непрацездатність”), який характеризується його “відмовою”, може бути відхилення від установлених значень хоча б одного з параметрів різального інструменту, вимог або характеристик оброблення, виконуваного цим інструментом.

До характеристик оброблення відносять: силу різання, температуру різання, рівень вібрацій, шорсткість обробленої поверхні, точність розміру і форми тощо.

Обсяг роботи різального інструменту до затуплення (“напрацювання різального інструменту”, “напрацювання між відмовами різального інструменту”, “напрацювання до відмови різального інструменту (леза)”) може бути виражений:

- інтервалом часу;
- масою чи об’ємом знятого матеріалу;
- довжиною шляху різання;
- площею обробленої поверхні;
- чи числом оброблених заготовок.

Залежно від величин, що виражають напрацювання різального інструменту, розрізняють такі напрацювання:

- тимчасове;
- масове;
- об’ємне;
- шляхове;
- поверхневе;
- та штучне.

Тимчасове напрацювання між відмовами різального інструменту може виражатися часом різання, машинним часом, тривалістю циклу роботи автоматичного обладнання (автоматичної лінії) тощо. Частковим випадком тимчасового напрацювання до відмови або між відмовами, коли напрацювання виражене часом різання, є період стійкості  $T$  - час різання новим або відновленим різальним інструментом (лезом) від початку різання до його відмови.

**Зауваження.** Під часом різання розуміють інтервал часу, протягом

якого інструмент перебуває в безпосередньому контакті з оброблюваною поверхнею, що супроводжується зняттям стружки

Вивчення фізичних закономірностей зношування інструменту дозволяє призначати оптимальні умови експлуатації (роботи) інструменту, прогнозувати вихідні показники процесу оброблення у цілому, а також сформулювати вимоги, що ставляться до інструментальних матеріалів, і визначити галузі їхнього ефективного застосування.

### 3.3 Надійність інструментів

Однією із сукупностей властивостей, що обумовлюють якість різального інструменту, є "надійність різального інструменту".

Надійність різального інструменту – властивість інструменту зберігати до певного часу значення усіх параметрів, які характеризують його працездатний стан, відповідно до вимог та характеристик оброблення, виконуваного цим інструментом, при встановленому порядку технічного обслуговування, відновлення, ремонту, транспортування та зберігання. Отже, надійність інструменту включає:



Ці властивості забезпечуються під час проектування, виготовлення й експлуатації інструменту і можуть розглядатися як окремо, так і в певному сполученні.

При оцінці надійності інструмента доцільно знаходити розподіл часу не тільки сумарно для всіх можливих відмов, але й роздільно - до відмов кожного виду. Тому поняття стійкості, обумовлене часом роботи інструмента до настання прийнятого критерію зношування, належить більше не до періоду стійкості, а до середнього часу безвідмовної роботи, тому що велика кількість відмов може бути не

пов'язана зі зношуванням. До них насамперед відносять руйнування.

Оцінку надійності інструменту можливо здійснити за наступними параметрами:

імовірність безвідмовної роботи інструменту

$$P(\tau) = \frac{n - m(\tau)}{n},$$

інтенсивність відмов

$$\lambda(\tau) = \frac{2\Delta m(\tau)}{(n_j + n_{j+1}) \Delta \tau},$$

плотність розподілу імовірності стійкості

$$f(\tau) = \frac{\Delta m(\tau)}{n \Delta \tau},$$

середня стійкість

$$T = \frac{1}{n} \sum \tau_i$$

де  $n$  – об'єм вибірки, або загальна кількість періодів стійкості інструменту;

$m(\tau)$  – кількість інструментів що відмовили за час під час дослідження;

$\Delta(\tau)$  – кількість інструментів що відмовили за період  $\tau$  проведення спостережень;

$n_j$  та  $n_{j+1}$  – кількість інструментів, які були працездатні відповідно на початку та в кінці  $j$ -го інтервали часу  $\Delta \tau$ ;

$\tau_i$  – стійкість  $i$ -того інструменту.

### Безвідмовність

Безвідмовність є основною властивістю, що визначає надійність різальних інструментів, безперервне збереження працездатності яких необхідне для завершення обробки.

Безвідмовність інструмента визначається ймовірністю його безвідмовної роботи й інтенсивністю відмов. Імовірність безвідмовної роботи характеризує ймовірність того, що в заданому інтервалі часу не виникне відмова інструмента. Іntenсивність відмов визначається ймовірністю відмови за одиницю часу після даного моменту обробки за умови, що відмова до цього моменту не виникла.

Таким чином, ця характеристика дозволяє розкрити причину відмови. Додатковими показниками безвідмовності інструменту є середня частота відмов, що визначає середнє число відмов інструменту за одиницю часу, узятя для розглянутого моменту часу, й середній час безвідмовної роботи.

### **Довговічність**

Довговічність - властивість інструменту зберігати працездатність до граничного стану з необхідними перервами для технічного обслуговування й ремонтів.

Довговічність інструменту кількісно виражається тими самими характеристиками, що й безвідмовність, якщо розглядати тільки непереборні відмови, тобто всі характеристики взяті у функції сумарного часу роботи, оскільки основною характеристикою є середня довговічність інструмента, обумовлена як середній сумарний час безвідмовної роботи.

Довговічність як властивість, що визначає головним чином ефективність використання інструменту, є найбільш значущою для складних дорогих різальних інструментів, наприклад, черв'ячних фрез, довбачів, протяжок та ін.

Залежно від принципу обмеження наробітку, а також наслідків відмовлення надійність різального інструменту може оцінюватися одним або декількома показниками, що характеризує одну або декілька її властивостей.

### **Ремонтопридатність**

Ремонтопридатність - властивість інструмента, що полягає в його пристосованості до попередження, виявлення й усунення відмов і несправностей шляхом проведення технічного обслуговування й ремонтів.

Час на відновлення інструменту складається із часу на його зато-

чення, заміну або поворот різального елемента (пластини), регулювання складального інструменту, його зміну й налагодження.

Ремонтопридатність інструменту оцінюється середнім часом або середнім сумарним часом відновлення його працездатного стану. Так, наприклад, інструмент із непереточуваними пластинками має більш високу ремонтпридатність у зв'язку зі зменшенням часу на відновлення його працездатності.

### 3.4 Міцність інструменту

При недостатній міцності леза інструменту його руйнування ("раптова відмова") відбувається шляхом крихкого сколювання і викришування або в результаті пластичної деформації й наступного зрізу.

Руйнування інструменту є недопустимим видом відмови і свідчить, як правило, про неправильне призначення:

- геометричних параметрів різальної частини (леза) інструменту
- умов і режимів оброблення;
- вибору марки інструментального матеріалу, що може супроводжуватися:
  - або значним підвищенням сил різання;
  - або формуванням у різальному клині напружень, більших ніж ті, які можуть ним допускатися.

### 3.5 Працездатність

Працездатний стан різального інструменту (леза) характеризується таким станом, при якому він здатний виконувати обробку різанням при встановлених у НТД умовах із установленими вимогами.

При цьому стан різального інструменту характеризують сукупністю значень його параметрів у даний момент (наприклад, значеннями заднього і переднього кутів, зносу по задній поверхні лева й ін.).

До умов обробки відносять, наприклад, оброблюваний матеріал, технологічне устаткування, режим різання, порядок технічного обслуговування, відновлення і ремонту.

До вимог обробки відносять, наприклад, допуски розмірів, форми і розташування оброблених поверхонь, параметри шорсткості, про-



дуктивність обробки різанням, питомі приведені витрати на обробку й ін.

Порушенням працездатного стану (непрацездатність) різального інструменту може бути:

- відхилення від установлених значень, хоча б одного з параметрів різального інструменту;
- вимог або характеристик обробки, виконуваної цим інструментом.

До характеристик обробки відносять:

- силу різання;
- температуру різання;
- рівень вібрацій;
- шорсткість поверхні;
- точність розміру і форми й ін.

Характеристиками непрацездатного стану різального інструменту (леза) є:

- відмова різального інструменту;
- раптова відмова різального інструменту;
- і поступова відмова різального інструменту.

**Раптова відмова** різального інструменту, як правило, настає внаслідок його руйнування.

**Поступова відмова** різального інструменту настає після досягнення поступово змінюваним значенням хоча б одного з його встановлених параметрів, вимог або характеристик обробки критерію відмови.

Критерій відмови різального інструменту (леза) визначається в залежності від вимог до обробки при виконанні конкретної технологічної операції. Наприклад, на операціях попередньої обробки з невисокими вимогами до шорсткості поверхні і точності розмірів критеріями відмови можуть бути прийняті гранично припустимі значення зносу інструменту по задній поверхні лева, визначені за умовою його раціональної експлуатації, значення сили різання тощо.

На операціях остаточної обробки різальним інструментом, де основними вимогами до обробки є допуски розмірів, форми і розташування оброблених поверхонь, критерієм відмови може бути прийняте

їхнє гранично припустиме значення.

Окремим випадком критерію відмови є критерій затуплення різального інструменту (леза) (Критерій затуплення). Це критерій відмови різального інструменту (леза), який характеризується максимально припустимим значенням зносу різального інструменту (переважно по задній поверхні леза), після досягнення якого настає його відмова.

**Зауваження.** Під зносом розуміють величину, що характеризує зміну форми і розмірів різального інструменту (леза) унаслідок зношування при різанні.

Після досягнення різальним інструментом (лезом) критерію затуплення настає поступова відмова. Поступова відмова різального інструменту (леза), що настає після досягнення розміром, формою або розташуванням обробленої поверхні межі поля допуску, називається точнісною відмовою різального інструменту (леза).

## Відновлення

Приведення після відмови робочої частини різального інструменту (леза) у працездатний стан називають відновленням різального інструменту (леза).

**Зауваження.** Відновлення різального інструменту (леза) здійснюється заточенням, заміною леза, що відмовило, і т.п.

Періодичність відновлення інструменту (призначена періодичність відновлення різального інструменту (леза)) визначається з урахуванням його функціонального призначення, конструктивного виконання, пристосованості до відновлення, а також обмежень умов технологічної операції, наприклад, забезпеченням найбільшої продуктивності або найменших приведених витрат на обробку.

**Відновлюваність** різального інструменту (леза) - властивість різального інструменту (леза), що полягає в пристосованості його робочої частини (леза), до відновлення, наприклад, шляхом заточення. Відновлення різального інструменту здійснюється: при відмові або по призначеній періодичності.

Об'єм роботи різального інструменту (наробіток різального інструменту, наробіток між відмовленнями різального інструменту, наробіток до відмовлення різального інструменту (леза)) може бути виражений інтервалом часу, масою або об'ємом знятого матеріалу, довжиною шляху різання, площею обробленої поверхні або числом

оброблених заготовок.

У залежності від величин, що виражають наробіток різального інструменту розрізняють наступні наробітки:

- тимчасову;
- масову;
- об'ємну;
- шляхову;
- поверхневу і штучну.

Тимчасовий наробіток між відмовленнями різального інструменту може виражатися часом різання, машинним часом, тривалістю циклу роботи автоматичного устаткування (автоматичної лінії) і т.д.

Окремим випадком тимчасового наробітку до відмовлення і між відмовленнями, коли наробіток виражений часом різання, є період стійкості - час різання новим або відновленим різальним інструментом (лезом) від початку різання до відмовлення.

**Зауваження.** Під часом різання розуміють інтервал часу, протягом якого інструмент знаходиться в безпосередньому контакті з оброблюваною поверхнею, що супроводжується зняттям стружки.

### Контроль стану інструменту

Методи які використовують для контролю стану інструменту можливо поділити на дві групи:

- безпосередні методи
- та непрямі методи.

Безпосередні методи передбачають безпосередній контроль стану інструменту

Безпосередній контроль	
1	радіоактивний метод
2	оптичний метод
3	пневматичний метод
4	електро-механічний метод
5	ультразвуковий метод

Непрямі методи контролю передбачають контроль якогось параметру який є результатом роботи інструменту

Непрямі методи контролю інструменту	
Вимір заготовки	– вимірювання габаритів
	– вимірювання шорсткості
Теплові та електричні параметри	– вимірювання температури різання
	– вимірювання е.р.с.
	– вимірювання електричного опору
Вібраційні виміри	– вимірювання коливань технологічної системи
	– вимірювання звукової амплітуди
Силові виміри	– вимірювання зусиль різання
	– вимірювання крутного моменту
	– вимірювання потужності

### 3.6 Перспективи

В теперішній час найбільш перспективний шлях підвищення стійкості різального інструмента це – застосування зміцнюючих покриттів.

Практикою показано, що напрямками підвищення стійкості різального інструменту є традиційні методи:

- використання раціональних режимів різання
- вибір оптимальної конструкції різальної частини інструмента
- застосування високоякісних МОТС
- використання нових інструментальних матеріалів
- та застосування способів зміцнюючої обробки, в тому числі використання зносостійких покриттів різальний інструмент.

Різальна кераміка застосовується при більш високих швидкостях різання ніж тверді сплави. Маючи більшу твердість і зносостійкість, які дозволяють працювати з більш високими швидкостями різання, кераміка здатна витримувати високі температури. Різальна кераміка дуже добре працює при малих подачах.

При середніх і високих подачах вона не має переваги, тому що дуже чутлива до теплових ударів. При створенні нових інструментальних матеріалів з метою поліпшення їх різальних властивостей, як правило, спостерігається погіршення інших параметрів. Так підвищення зносостійкості безвольфрамових твердих сплавів пов'язано із зменшенням їхньої міцності, збільшенням крихкості.

Ідеальний інструментальний матеріал для високопродуктивного

оброблення важкооброблюваних матеріалів повинний мати такі властивості, як твердість і зносостійкість алмаза, хімічну стабільність мінералокераміки і питому в'язкість швидкорізальної сталі.

Поряд з цим необхідна висока стійкість, теплопровідність і низька чутливість до перепаду температур. Доки такий матеріал ще не створений, найбільш перспективним шляхом підвищення стійкості різального інструмента є застосування зміцнюючих покриттів.

Аналіз методів покращення різальних властивостей інструменту привів до висновку про необхідність впровадження такого комплексу робіт:

- поліпшення системи забезпечення різальним інструментом за рахунок розробки і впровадження технічно обґрунтованих норм;
- підвищення рівня експлуатації різального інструмента на робочих місцях за рахунок оптимальних режимів обробки;
- а також застосування конструкційних матеріалів з поліпшеною оброблюваністю;
- поліпшення роботи з переточування і відновлення різального інструмента.

Однак дотримання всіх зазначених заходів для поліпшення використання різального інструмента не забезпечить істотного зниження його витрат, оскільки цей шлях за існуючої технології може скоротити витрати різального інструмента всього лише на 25–30%.

Тому більш перспективними шляхами підвищення стійкості різального інструменту є розробки нових інструментальних матеріалів, його конструкції, формування на робочих поверхнях зносостійкого покриття.

### **Матеріали для зміцнюючих покриттів.**

У промисловості більше застосування знаходять матеріали з покриттям, які є типовим композиційним матеріалом, що мають високу зносостійкість в поєднанні з досить задовільною міцністю при вигині, ударною в'язкістю, витривалістю, тріщиностійкістю.

Використання покриттів дає можливість найбільш раціонально, економічно, рентабельно використовувати фізико-механічні властивості інструментальних матеріалів, замінити дорогі сталі та сплави і, в більш випадків, підвищити працездатність і надійність різального інструменту.

Загальні експлуатаційні вимоги стосовно до покриттів: покриття повинно бути стійким проти корозії та окислювання; зберігати свої властивості при високих температурах; не мати дефектів (пор, включень); мати високу межу витривалості.

У зв'язку з технологічним призначенням покриття повинні мати: твердість, що в 1,5-2 рази перевищує твердість матеріалу основи; низьку схильність до адгезії з оброблюваним матеріалом; мінімальну здатність до дифузійного розчинення у оброблюваному матеріалі та мінімальну відмінність кристалічних структур покриття і матеріалу основи.

Властивості покриття і матеріалу основи повинні бути досить близькими та погодженими. У зв'язку з цим бажано мати: максимальну подібність кристалохімічних параметрів; мінімальну відмінність фізико-механічних теплофізичних властивостей; мінімальну ймовірність виникнення твердої фази дифузійних реакцій при температурі тертя.

Найбільш придатними, як матеріали покриттів, на інструментальних матеріалах є карбіди, нітриди, карбонітриди титана та оксид алюмінію.

Властивості покриття суттєво залежать від вибору методу і параметрів нанесення покриття. Найбільш істотну роль грає температура на межі роз'єднання конденсату та матеріалу основи.

Від температури формування покриття залежать структура покриття, міцність її адгезії з твердим сплавом, причому останнє визначається також можливістю дифузійної взаємодії пари "покриття – інструментальний матеріал". При цьому матеріал покриття і інструменту не повинні створювати крихких інтерметалідів при термомеханічному навантаженні яке виникає при різанні.

Взаємна дифузія підвищує міцність зчеплення покриття і твердого сплаву і, у свою чергу, залежить від кристалохімічної спорідненості покриття, що осаджується, і твердого сплаву. У формуванні міцного адгезійного зв'язку домінуючу роль мають дифузійні процеси.

Висока адгезійна міцність покриттів, визначається як молекулярними силами, так і проходженням дифузійних процесів з утворенням зон взаємної дифузії, незважаючи на чіткі поверхні розподілу основа – покриття.

Проведені дослідження по зміцненню різального інструменту нітридами, карбідами, боридами та оксидами перехідних металів показали, що вони мають високу твердість, жаростійкість, зносостій-

кість, хімічною стійкістю. Покриття на основі окису алюмінію мають дифузійний бар'єр і високі зносостійкі властивості.

Для інструментальних матеріалів широко використовуються покриття на основі титану серед яких найбільше поширення одержали покриття з TiK, а також – TiC.

Шведська фірма *Sandvik Coromant AG* вперше почала випуск твердосплавних пластин з покриттям з TiC, а пізніше з TiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, також широко використовує різні композиції TiC, TiN, ZrC, ZrN, HfC, HfN і Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> для покриття різального інструменту.

Фірма *Metallwerke Plansee AG* для покриттів, використовує матеріали TiN, TiC, Ti(N,C) у різних сполученнях.

Покриття з матеріалу TiC-TiN, TiN і HfN, розроблені фірмою *Teledyne Firth Sterling* нанесені на твердосплавні пластини, перешкоджають утворенню крихкої фази на поверхні твердого сплаву.

Відомі покриття з TiN, TiC, Mo<sub>2</sub>O<sub>3</sub> і т.д., які широко використовуються для нанесення як на тверді сплави, так і на інструмент зі швидкорізальних сталей.

Використання композиційного покриття (Ti-Zr)-(Ti-Zr)N дозволяє збільшити зносостійкість, мікротвердість, опір пластичному деформуванню зміцненої поверхні, збільшити теплостійкість інструменту з швидкорізальної сталі, і зменшити зношування при різанні інструментом з твердого сплаву.

Найбільш поширеними композиціями для зміцнюючих покриттів є карбіди та нітриди титану, цирконію, гафнію, а також оксиди алюмінію та хрому. Багатошарові покриття робочої поверхні різального інструменту.

Зносостійкі покриття на різальному інструменті складаються, як правило, із сполук, що у загальному виді дуже тверді і крихкі, тобто мають дуже низьку крихку міцність. Одним зі шляхів зниження крихкості таких покриттів є зниження їхньої товщини.

Високі питомі міцнісні властивості тонких покриттів пов'язані з тим, що крихкі властивості, які притаманні твердим матеріалам та проявляються при малих товщинах. Але покриття малої товщини має малу довговічність в умовах абразивного зношування. Тому принцип багатошаровості дозволяє досягати необхідних товщин покриттів без збільшення їхньої крихкості.

Багатошарові покриття в цілому багатофункціональні. Вони поєднують високу твердість, зносостійкість, опір окислюванню і адге-

зійної взаємодії з оброблюваним матеріалом, мають низький коефіцієнт тертя, підвищують стійкість до абразивного зношування і до окислювання при підвищених температурах. Кожний із шарів у багатошаровому покритті може виконувати різні функції. Проміжні шари можуть монотонно змінювати коефіцієнт термічного розширення і модулі пружності від основи до поверхневого шару.

Поєднання різних способів поверхневого зміцнення різального інструменту дозволило наносити дво- і багатошарові покриття. Практика показала ефективність різального інструменту з багатошаровими покриттями, розробка яких є однією з тенденцій розвитку поверхневого зміцнення.

Використання композиційного покриття дозволяє збільшити тріщиностійкість і виключити виникнення мікротріщин, які є основною причиною низької тріщиностійкості нітридтитанового покриття при експлуатації різального інструменту.

Слід відзначити, що двошаровими покриттями в основному зміцнюють тверді сплави, а для інструментальних та швидкокорізальних сталей їх застосування обмежено.

Тришарова структура покриття в різних сполученнях тих же металів забезпечує більш широкий діапазон властивостей різального інструменту. Як правило, тришаровими покриттями зміцнюють тверді сплави.

У складі багатошарових покриттів застосовують проміжні шари з різною відносною твердістю, в яких чергуються шари твердої і м'якої фази.

## **Висновок.**

На підставі аналізу матеріалів покриттів для зміцнення різального інструмента можна зробити висновок, що в даний час у розробці матеріалів для покриттів спостерігаються два підходи.

Перший полягає в створенні багатошарових покриттів. Кожен шар у багатошаровому покритті виконує власну функцію і забезпечує поступовий перехід фізико-механічних властивостей покриття від поверхні до основи.

Другий підхід полягає в створенні багатокомпонентних шарів перемінного складу по товщині покриття.

Обидва методи значно підвищують вартість технології одержання зносостійкого покриття і знижують надійність покриття, тому, що



брак в одному із шарів приводить до зниження якості всього покриття. Численні матеріали і способи нанесення покриттів мають свої переваги і недоліки. Тому, закономірно прагнення до розробки не “універсальних” покриттів і способів їхнього нанесення, а покриттів, призначених для конкретних матеріалів основи і визначених умов експлуатації.

### 3.7 Питання для самоконтролю

1. Назвіть основні задачі інструментального господарства.
2. Назвіть основні вимоги до експлуатації інструменту.
3. Що таке зношування інструменту?
4. В чому полягає напрацювання інструменту до відмови?
5. В чому полягає надійність різального інструменту?
6. Що таке довговічність різального інструменту?
7. В чому полягає ремонтпридатність інструменту?
8. Перелічить параметри які характеризують працездатність інструменту?
9. Яким чином здійснюють відновлення працездатності інструменту?
10. Назвіть основні перспективи розвитку різального інструменту.

### Література

- [1] Имитационное моделирование производственных систем / Под общ. ред. А.А. Вавилова. - М.: Машиностроение, 1983. - 416 с.
- [2] Кукляк М.Л. Металорізальні інструменти в машинобудуванні. Ч. 1. - К.: УСДО, 1993.-392 с
- [3] Кукляк М.Л. Металорізальні інструменти в машинобудуванні. Ч. 2. - К.: УСДО, 1993.-392 с.
- [4] Лоладзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. - М.: Машиностроение, 1980. - 320 с
- [5] Прогрессивніе конструкции режущего инструмента для ГПС и роботизированных комплексов. - М.: МДНТП, 1987. - 167 с.
- [6] Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания / Под общ. ред. В.И. Баранчикова. - М.: Машиностроение, 1990. - 440 с.

- [7] Рабочие процессы высоких технологий в машиностроении / Под общ. ред. А.И. Грабченко. - Харьков: ХГПУ, 1999. - 334 с.
- [8] Современные тенденции развития режущих инструментов. - М.: НИИМаш, 1984.-56 с.

Ні мистецтво, ні мудрість не  
можуть бути досягнуті, якщо їм  
не вчитися.

*Демокріт*

## 4 Конструювання інструментів

### **Мета, завдання і методи проектування.**

**Мета** проектування – створення конструкції інструменту, оптимального за критерієм мінімуму приведених витрат на операції його використання.

**Завдання** проектування – розробка конструкції складових частин (робочою, приєднувальною, направляючих) шляхом оптимальних рішень по вибору елементів цих частин.

Детально, конкретно завдання будуть викладені нижче у вигляді алгоритму проектування. При цьому можуть бути два принципово різних підходи або методи проектування :

- аналоговий;
- компіляційний.

**Аналоговий метод** проектування полягає в пошуку аналогів і в створенні на їх основі кращої конструкції інструменту шляхом використання кращих рішень, закладених в цих аналогах.

**Метод компіляції** проектування припускає створення конструкції з оптимальних, загальних для усіх інструментів елементів і методів рішення конкретних завдань. Це по суті – модульний метод проектування, де модулями є одиничні елементи конструкції (різальний елемент, форма робочої поверхні, схема різання та ін.) і способи рішення окремих завдань (розрахунок форми різального контура, спосіб відведення стружки і так далі).

Обидва методи мають право на існування. Аналоговий метод простіший, надійніший; більше упевненості в працездатності конструкції, якщо аналоги пройшли виробничу перевірку. Він найбільш прийнятний для пристосування конструкції до конкретних умов роботи.

Метод компіляції проектування дозволяє створювати принципово нові конструкції, імовірно кращі за формою і властивостям. Його не-

долік – відсутність повної упевненості в тому, що без доопрацювань за результатами випробувань інструмент буде цілком працездатним. Головна перевага методу компіляції полягає в тому, що він є дуже плідний відносно нетрадиційних ідей.

### **Алгоритм і діалектика проектування.**

Для зменшення можливих недоробок і спрощення проектно-конструкторських робіт завдання проектування доцільно вирішувати в певній послідовності відповідно до приведеного нижче алгоритму.

Вивчення або розробка технічного завдання на проектування (матеріал і твердість заготівлі, режим і умови різання, якість обробки та ін.)

#### **Проектування робочої частини :**

- вибір різального матеріалу і способу його закріплення;
- вибір схеми різання і розробка структурної схеми інструменту;
- вибір геометричних параметрів : форми робочих поверхонь, структури різального контура (головних, допоміжних, перехідних, зачистних різальних кромок) і кутів заточування;
- вибір способів формування і відведення стружки із зони різання;
- розрахунок зубів і тіла інструменту на міцність і жорсткість;
- оптимізація кроку, розмірів і форми зубів, а також стружкових канавок інструменту;
- визначення розмірів, форми і точність робочої частини і різальних контурів
- вибір способів відведення теплоти із зони різання;
- остаточна оптимізація конструкції робочої частини по мінімуму приведених витрат.

Поетапну оптимізацію проводять оптимальним рішенням завдань за вказаними пунктами і у випадках приєднання до попереднього пункту оптимального рішення по подальшому, оскільки приєднання оптимальних елементів по кожному із завдань не завжди забезпечує оптимальну зв'язку (поєднання) або конструктивно нездійсненне.

#### **Проектування приєднувальної частини :**

- вибір способу приєднання інструменту до верстата (рухливість або нерухомість, швидкість зміни, можливість регулювання розмірів, точність, жорсткість);

- вибір форми базових поверхонь;
- вибір матеріалу приєднувальної частини;
- вибір способу з'єднання з робочою частиною;
- розрахунок приєднувальної частини на передачу зусилля різання, міцність, жорсткість і точність базування.

**Проектування направляючої частини :**

- оцінка необхідності направляючої частини;
- вибір способу напрямку інструменту в роботі;
- вибір матеріалу направляючої частини;
- вибір місця розташування направляючих частин і способу їх з'єднання з іншими частинами інструменту;
- конструктивне оформлення направляючої частини.

**Розробка технічні вимог:**

- твердості складових частин інструменту;
- відхилень розмірів і точності розташування складових частин, поверхонь і різальних кромek;
- шорсткості робочих, базових, направляючих і інших поверхонь;
- методів випробування в роботі (при необхідності);
- вказівок про маркування, упаковку, зберігання та ін.

**Шлях проектування** – не прямий, гладкий і безконфліктний. Це шлях послідовного рішення вказаних завдань, шлях руху вперед і повернення при вирішенні протиріч. За кожним позитивним рішенням потрібно побачити негативні сторони, уміти правильно зважити усе “за і проти”, вирішити ці протиріччя. Критерій оцінки правильності прийнятих рішень – мінімум приведених витрат на операції використання інструменту або інший, залежний від поставленої мети.

Створення оптимальної конструкції інструменту можливе при використанні прогресивних рішень, передових методів розрахунку і проектування. Не можна сліпо, без попередньої підготовки, без з'ясування суті використовувати наведені в літературі приклади розрахунку.

Необхідно спочатку детально вивчити або скласти технічне завдання на проектування, чітко уявити собі, що вимагається від ін-

струменту і як цього можна досягти. Тому перед початком роботи слід:

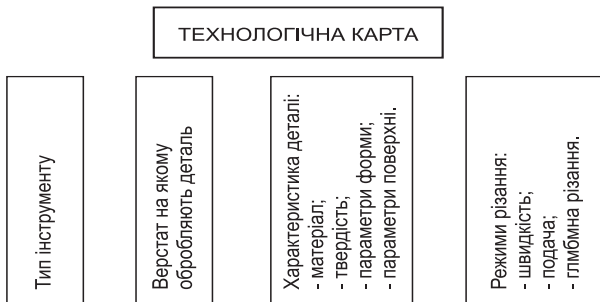
- детально ознайомитися з об'єктом проектування по літературі;
- потім здійснити патентно-інформаційний пошук аналогів;
- проаналізувати їх з точки зору оптимальних рішень вказаних завдань проектування;
- прийняти технічно і економічно обгрунтовані рішення;
- і, нарешті, розробити план проектних робіт.

При цьому необхідно пам'ятати, що у будь-якій конструкції, навіть найоригінальнішій, доцільно використовувати стандартні елементи, що не лише прискорює розробку і підвищує надійність інструменту, але частенько визначає саму можливість його використання. Передусім це відноситься до вибору розмірів і форми приєднувальних частин, форми різальних зубів, способів кріплення різальних елементів, технічних вимог по інструментах аналогам.

Для синтезування оптимальної конструкції різального інструменту з елементів шляхом послідовного рішення завдань по алгоритму проектування необхідно мати уявлення про різновиди і властивості цих елементів, а також підходи до рішення вказаних завдань. Ці питання викладаються нижче. Але передусім потрібно детально вивчити або розробити технічне завдання на проектування.

### Технічне завдання на проектування.

Детальне технічне завдання конструктор-інструментальник має у разі адресного проектування при оснащенні технологічного процесу виготовлення деталі в умовах масового і великосерійного виробництва. Його видає інженер-технолог у вигляді операційної технологічної карти



В цьому випадку робота конструктора-інструментальника спрощується. Продуктивність обробки задана режимом різання. Тому при доопрацюванні стандартної конструкції потрібного інструменту, адаптації його до конкретних умов роботи або при проектуванні оригінального інструменту конструктору немає необхідності прагнути до максимальної продуктивності.

Порівняно легко забезпечуючи задану продуктивність вибором відповідного різального матеріалу, конструктор вирішує тільки питання, пов'язані з енергоємністю і економічністю процесу різання. При цьому необхідно перевірити, чи відповідають паспортним значенням розміри місць конкретного, наявного в цеху верстата, що сполучаються з інструментом, і пов'язати конструкцію інструменту із затишним пристосуванням на заданій операції. Зневага цим правилом може привести до того, що інструмент або не поєднується з верстатом, або його розміри не дозволяють підійти до місця обробки.

Проте детальне технічне завдання конструктор має не завжди. Це буває у таких випадках:

- проектування інструменту для нового методу обробки;
- проектування знеособленого інструменту масового користування, невідомо:
  - на яких верстатах використовуватиметься інструмент;
  - в яких умовах працюватиме; з яких матеріалів і з якою точністю оброблятимуться деталі.

У таких випадках конструктор розробляє технічне завдання самостійно, орієнтуючись на середні умови роботи.

## **4.1 Етапи конструювання**

Конструювання інструменту полягає у виборі типу інструменту [3], визначенні його розмірів, складанні робочого кресленика і технічних умов, по яких інструмент може бути виготовлений. Дії конструктора зводяться до наступного [1, 2]:

- виходячи з технічного завдання на оброблювальну деталь:
  - зробити аналіз сил, що діють на інструмент,
  - визначити оптимальну геометрію різальних зубів,
  - підібрати відповідний інструментальний матеріал,
  - вибрати форму робочої частини, що забезпечує вільне відділення стружки;

- визначити форму та профіль зубів інструменту;
- визначити доцільні габаритні розміри інструменту;
- зробити розрахунки кінематичних параметрів інструменту;
- перевірити (за розрахунками) інструмент на міцність, жорсткість, надійність;
- скласти робочий кресленик інструменту та технічні умови.

Треба розрізняти два основні варіанти проектування інструменту:

- проектування для невідомого користувача

У цьому випадку всі параметри інструменту проектують на основі загальних умов користування інструментом.

- проектування для відомого користувача

У цьому випадку всі параметри інструменту проектують для конкретних умов користування інструментом.

**Зауваження.** Сучасні підприємства не придбають інструмент для якогось верстату. Вони придбають комплекс верстатів та інструментів для виготовлення конкретної продукції.

## 4.2 Частини інструменту

Кожен з інструментів, незалежно від виду і призначення, має загальні частини: робочу і приєднувальну [5, 6].

**Робоча** частина – безпосередньо зрізує стружку і для цього забезпечена однією або декількома різальними кромками.

**Приєднувальна** частина – призначена для приєднування інструменту до верстату та передачі зусиль до робочої частини інструменту.

Робоча частина інструменту є основною його частиною, тому визначення її форми і розмірів складає основне завдання при розрахунку і конструюванні інструментів. У багатьох інструментів робочу частину можна розділити на:

- різальну, що виконує основну роботу по зрізанню стружки;
- і ту що калібрує, призначену для остаточного формування оброблюваної поверхні.

Конструкції, як робочих частин, так і приєднувальних дуже різноманітні. Доцільно прагнути до скорочення цієї різноманітності. Для цього здійснюється стандартизація інструментів, яка особливо важлива для приєднувальних частин, оскільки від їх форм і розмірів залежать форми і розміри гнізд у виконавчих органах верстатів.



Тому при конструюванні інструментів необхідно користуватися існуючими стандартами на різні види інструментів.

### **4.3 Технологічність інструменту**

Конструкція інструменту має бути по можливості простою, позбавленою яких-небудь надмірностей, що не викликаються крайньою необхідністю [4].

Конструкція інструменту має бути технологічною. Він має бути порівняно простий у виготовленні. Важливо врахувати особливості матеріалів, з яких виготовлятиметься інструмент і методи їх оброблення, технологічні і метрологічні можливості устаткування.

**Зауваження.** Доцільно використовувати стандартні та готові конструктивні рішення. Інколи краще купити готовий вузол на стороні ніж виготовляти самому.

У збірних інструментах необхідно передбачити особливості виготовлення кожної деталі. Конструктор повинен ясно уявляти технологію виготовлення цього інструменту, у тому числі специфічні особливості інструментального виробництва, так що при конструюванні інструменту усі ці питання вирішуються комплексно.

### **4.4 Кріплення інструментів**

Усі види з'єднання інструменту з верстатом можна розділити на три стандартні групи :

- **жорсткі з'єднання:**  
коли передавання зусилля здійснюється за допомогою шпонок, штифтів чи якими-небудь виступами;
- **фрикційні з'єднання:**  
коли передавальні зусилля здійснюється силами тертя в місцях стику між сполучними частинами інструменту і верстата;
- **комбіновані з'єднання:**  
що поєднують жорсткі і фрикційні елементи.

Важливою умовою при конструюванні приєднувальної частини є легка і швидка установка інструменту на верстаті.

## Спосіб кріплення інструменту

Для забезпечення заданих розмірів обробки інструмент повинен займати певне положення відносно верстата або оброблюваної деталі і не змінювати цього положення під час роботи. Для цієї мети служить приєднувальна частина інструменту, що складається з базових поверхонь і елементів передачі зусиль.

У хвостових інструментів такою частиною є хвостовики, а у насадних - корпус робочої частини. У переважній більшості випадків інструменти закріплюються нерухомо відносно шпинделя або супорта верстата (різці, фрези, свердла, зенкери, протягання для зовнішнього простягання, зуборізні інструменти).

Проте є випадки, коли слід віддати перевагу рухливому з'єднанню інструменту з верстатом. Це відноситься до інструментів, які повинні точно самостійно зайняти потрібне положення відносно оброблюваної поверхні деталі, якщо є побоювання, що верстатом це забезпечити неможливо. До них відносяться чистові інструменти, такі, як:

- протяжки для обробки замкнутих контурів, наприклад, круглі;
- розвертки;
- мітчики.

коли обробка цими інструментами виконується оброблення на окремих верстатах або позиціях багатопозиційних верстатів після попередньої обробки іншими інструментами на інших верстатах або інших позиціях верстата.

Для самостійної установки служать спеціальні утримувачі інструментів або патрони (що коливаються, ті що “плавають”, швидкозмінні і так далі). То б то ті, що сполучають інструмент з шпинделем або супортом верстата.

Принципові схеми таких патронів приведені у стандартах на відповідний інструмент. Так, наприклад, плаваючий патрон забезпечує поєднання осей розгортки і оброблюваного отвору, якщо вісь шпинделя верстата на позиції обробки зміщена відносно осі заздалегідь обробленого отвору. Крім того, биття шпинделя верстата в принципі не передається на інструмент і розбивання отворів зменшується.

Різновиди рухливих патронів описані в учбовій і довідковій літературі. Існують десятки конструкцій, що реалізують гойдання, плавання або гойдання і плавання інструменту одночасно.

При виборі або розробці конструкції патрона необхідно прагнути

зменшити число рухливих зчленувань, в яких під навантаженням під час роботи можливі заїдання і перетворення рухливого з'єднання в нерухоме зі зміщеним відносно шпинделя верстата положенням інструменту. Наслідком цього стане підвищене розбивання обробленого отвору.

Тертя ковзання в рухомих з'єднаннях патрона слід замінювати на тертя кочення або ще краще – на внутрішнє тертя в пружних елементах. Прикладами кращих рішень може бути плаваючий патрон на базі сільфону, гофрованої металевої трубки, що має достатню крутильну жорсткість і велику радіальну податливість. Або звичайний металевий стержень-подовжувач з радіальною податливістю на кінці закріпленого в нім інструменту не менше 0,005 мм/Н замість патрона, що коливається.

Швидкість зміни кріплення дуже важлива для інструментів автоматизованих виробництв, де особливо потрібне скорочення простоїв автоматичних ліній при заміні вийшовши з ладу інструментів. Для цієї мети використовують швидкозмінні патрони для стержневих інструментів (свердел, зенкерів, мітчиків, розгортки), клямки для різців і деякі інші пристрої.

Скорочення простоїв дорогого автоматизованого устаткування досягається також використанням так званого безпідналагоджувального інструменту, що не вимагає наладки на розмір обробки після його установки на верстаті.

Виготовити взаємозамінний інструмент нескладно, але після переточувань його розміри змінюються. Тому вважають за краще вводити в конструкцію інструменту або в проміжні оправляння-перехідники, в яких він встановлюється, рухливі елементи у вигляді гвинтів з сферичною головкою, якими можна забезпечити точне положення інструменту по одній або двох координатах відносно базових поверхонь верстата, забезпечуючи при цьому отримання заданих розмірів обробки.

Точне налаштування інструменту на розміри обробки виконується в спеціальних пристосуваннях або приладах поза верстатом, верстат в цей час працює. Таке налаштування передбачають у інструментів для верстатів з ЧПУ і автоматичних ліній з агрегатних верстатів.

## **Напрямна частина**

Без точного положення інструменту і напрямку його руху відносно оброблюваної деталі неможливо отримати задану точність розмірів і форми оброблених поверхонь. В процесі роботи напрям повідомляється тому елементу технологічної системи, який забезпечує рух подачі, наприклад, деталі при фрезеруванні, різцю і свердлу при точінні і свердлінні. Такий напрям завжди забезпечується верстатом (відповідно столом фрезерного верстата, супортом токарного або шпинделем свердлувального).

Проте у багатьох випадках такого напрямку недостатньо. Для підвищення точності оброблених поверхонь і їх положення один відносно одного або певних базових поверхонь деталі інструменту необхідно повідомити додатковий напрям в роботі по пристосуванню або оброблюваній деталі.

Це характерно для таких технологічних операцій:

- свердління точно розташованих отворів;
- розвертування ступінчастих отворів;
- зенкування поглиблень під голівки гвинтів і обробки друг їх співісних отворів зенкерами і розгортками;
- нарізування різьби мітчиками;
- протягування на горизонтально-протяжних верстатах;
- а також для деяких друг їх видів обробки.

Необхідність такого напрямку треба встановити на стадії проектування інструменту залежно від точності розмірів і точності розташування оброблених поверхонь, щоб надалі вибрати спосіб напрямку інструменту і направляючі елементи, що відповідають йому.

## **Матеріал напрямної частини**

Основними вимогами до напрямної частини є:

- висока точність розмірів (не повинно бути великого проміжку між напрямною частиною інструменту і напрямною поверхнею оброблюваної деталі або пристосування) і висока точність розташування відносно робочої частини інструменту;
- висока зносостійкість, оскільки вона третя об деталь або пристосування із швидкістю різання.

Тому напрямні частини роблять з гартованих на високу твердість інструментальних вуглецевих або легированих сталей, у тому числі зі

швидкорізальних, звертаючи увагу на технологічність конструкції інструменту в цілому. Це означає, що змінні напрямні частини можна виконувати з будь-якого вказаного матеріалу.

У цілісних і складених швидкорізальних інструментів частина прямої є природним продовженням робочої, а її матеріалом – матеріал робочої частини, а саме швидкорізальна сталь.

Якщо корпус інструменту виконаний з конструкційної сталі (зенкери, розгвертки, оснащені твердими сплавами або ножами зі швидкорізальної сталі), то матеріалом прямої частини може бути матеріал корпусу, але підданий додатковій обробці для підвищення зносостійкості (загартування після цементації, хромування).

## **4.5 Автоматизоване виробництва**

Інструменти автоматизованих виробництв, як і будь-які інші, повинні при заданій якості обробки забезпечити мінімум приведених витрат на операціях їх використання. Проте у зв'язку з особливостями функціонування автоматизованих виробництв посилюються колишні вимоги до інструментів або пред'являються нові, такі, як:

- висока надійність роботи інструменту;
- високі і стабільні різальні властивості;
- задовільне формування і відведення стружки,
- швидкість при заміні інструменту;
- взаємозамінюваність, що забезпечується налаштуванням на розмір поза верстатом;
- універсальність застосування для типових оброблюваних поверхонь різних деталей на різних верстатах з ЧПУ;
- підвищена точність інструментів для верстатів з ЧПУ.

Усі ці вимоги вписуються в три основні, раніше розглянуті:

- висока продуктивність;
- мала енергоємність процесу різання;
- економічність інструменту.

Шляхи реалізації вимог цих вимог принципово такі ж, як і для інструментів взагалі, і проектується вони по тому ж, викладеному раніше алгоритму.

Проте посилення основних вимог і задоволення нових, пов'язаних з умовами експлуатації автоматизованого устаткування, вимагають пошуку інших шляхів рішення ряду завдань. Уточнимо деякі з них.

Якщо відповідно до алгоритму проектування проаналізувати рішення колишніх завдань, то можна виявити наступні особливості. Передусім, при виборі різального матеріалу прагнуть використовувати матеріал вищої теплостійкості і міцності з метою підвищення продуктивності і надійності інструменту. Ці вимоги не завжди сумісні. Тому доводиться приймати компромісне економічно вигідне рішення. З метою підвищення універсальності інструментів різальні матеріали у вигляді багатограних непереточуваних пластин (БНП) механічно кріплять до корпусів. В результаті такий інструмент можна швидко переоснастити пластинами іншого різального матеріалу.

**Геометричні параметри** інструментів з БНП забезпечуються як за рахунок параметрів самої пластини, так і за рахунок похилої установки пластини в корпусі інструменту. Що стосується вибору оптимальних значень задніх кутів і кутів нахилу різальних кромок, то немає ніяких перешкод на шляху реалізації цих вимог.

Пластини виготовляють із задніми кутами від 0 до 30° з малим кроком зміни, що цілком достатньо для точного втілення оптимальних значень задніх кутів. Крім того, при цьому підвищується універсальність інструментів : легко, без переточування і без заміни корпусу можна отримати інструменти з іншими задніми кутами, замінивши різальні пластины.

Передні кути отримують за рахунок радіусних канавок на передній поверхні пластин, що утворюються при пресуванні. Крім того, вони залежать також і від кута повороту пластини, необхідного для набуття вибраних значень задніх кутів.

**Оптимізація кроку** зубів збірних інструментів зводиться до пошуку таких способів закріплення пластин, які за усіх інших умов забезпечать мінімальне значення кроку. Переступити межу оптимуму у напрямі мінімізації кроку не вдається. При цьому слід пам'ятати, що оптимізація кроку економічно прийнятна для інструментів в масовому виробництві на жорстких автоматичних лініях з агрегатних верстатів.

**Взаємозамінюваність** інструментів забезпечується введенням в їх конструкцію компенсаторів у вигляді гвинтів з сферичною голівкою, що дозволяють заздалегідь, поза верстатом, настроїти необхідний розмір інструменту. Після установки такого інструменту на верстат підналадку не потрібно.

**Універсальність інструментів** досягається за рахунок модульності конструкцій. Будь-який інструмент конкретного призначення можна

отримати шляхом швидкої зборки з уніфікованих модулів. Таким оригінальним способом (модульність конструкцій) вирішується протиріччя між універсальністю і спеціалізацією інструменту.

При цьому уніфіковані модулі виготовляють спеціалізовані підприємства. В результаті – низька вартість модулів при високій якості.

Єдиним недоліком модульних конструкцій є знижена жорсткість і труднощі в досягненні необхідної точності позиціонування інструменту, оскільки мною зчленувань. Проте цей недолік обертається і позитивною стороною: вища вібростійка із-за демпфування коливань стиками модулів.

## **4.6 Організація проектування**

Проектування інструменту розпочинається з ретельного вивчення виданого або розробленого самим конструктором технічного завдання на проектування. Вивчаються умови роботи інструменту, по яких з'ясовують принципи особливості його конструкції,

Розглянемо деякі приклади, наприклад, свердління наскрізного отвору діаметром понад 80 мм у сталі ст.15:

- основна особливість:
  - велика робота різання звичайним спіральним свердлом.
- альтернативна особливість:
  - конструкція свердла для кільцевого свердління, що зменшує роботу різання.

Свердлінню отворів в сталі 15 супроводить інтенсивне налипання оброблюваного металу на поверхнях тертя інструменту, особливо на бокових стрічках свердла.

В нашому прикладі необхідно зменшити тертя між інструментом та зоготовкою. Це можна зробити за рахунок скорочення ширини стрічок, підгострювання стрічечок або збільшення зворотної конусності.

Подібні принципи особливості конструкції виявляють перед початком конструювання. Іншими словами – визначають всі проблемні ситуації та формують можливі методи їх розв'язування.

Потім послідовно вирішуються завдання проектування за усіма розглянутими вище пунктами або по частині з них залежно від заданого або прийнятого напряму проектування.

Основних напрямів проектування (алгоритмів проектування) чотири:

– проектування

стандартних інструментів (розробка робочих креслень таких інструментів). *Усі параметри конструкції і технічні вимоги приймаються по ДЕСТ;*

– оптимізація

стандартних інструментів. *Виконується з метою підвищення ефективності їх роботи головним чином за рахунок вдосконалення схем різання, методів охолодження в роботі, способів кріплення різальних елементів, оптимізації кроку зубів.*

– доопрацювання

стандартних конструкцій з оптимізацією окремих елементів стосовно конкретних умов роботи в масовому і великосерійному виробництві. Стандартні інструменти пристосовують до конкретних умов роботи. *Можлива зміна стандартних габаритних розмірів, геометричних параметрів, схем різання, кроку зубів і деяких інших елементів для поліпшень.*

– розробка

оригінальних конструкцій, у тому числі спеціальних фасонних. Тут може бути повністю виключений аналоговий метод проектування, якщо конструкція оптимізується по мінімуму приведених витрат на операції використання інструменту. *Проте подібні конструкції із-за непередбачених прорахунків можуть виявитися непрацездатними, і їх необхідно тривалий час допрацьовувати. Тому і тут корисно використовувати деякі стандартні рішення.*

## 4.7 Робочий кресленик

Після необхідних розрахунків виконується робочий кресленик інструменту. Основні вимоги до креслення регламентуються стандартами на відповідний інструмент.

При викреслюванні інструменту існує ряд умовностей, що спрощують графічну роботу:

- не завжди зображають стружкові канавки коли їх форма не дуже суттєва (мітчики, розгортки, фрези);



- у багатозубих інструментів викреслюють профіль тільки 2...3 зубів;
- гвинтові лінії на кресленнях загального виду замінюють прямими (фрези, свердла, розгортки);
- профіль інструменту зазвичай викреслюється окремо у збільшеному масштабі із додаванням таблиці розмірів;
- перерізи для позначення величини передніх і задніх кутів виконують частково.

На кресленні необхідно вказати усі розміри. Якщо це однотипні інструменти (комплект мітчиків, нормалі різців і тому подібне), на кресленнику проставляють буквені позначення розмірів, а їх числові значення наводять у таблицях.

Обов'язково має бути вказана шорсткість поверхонь інструменту. Особливо важливо вказати її на найважливіших поверхнях, ними є:

- робочі поверхні різального елемента;
- опорні, настановні і контрольні поверхні.

На робочому кресленні мають бути вказані технічні вимоги до цього інструменту:

- допуски на розміри, биття основних поверхонь;
- позначення матеріалу інструменту;
- твердість окремих частин інструменту;
- опис маркування і на якому місці інструменту.

Технічні вимоги до інструментів містять в технічних умовах, які на більшість інструментів стандартизовані.

## **4.8 Питання для самоконтролю**

1. Перелічить основні частини різального інструменту.
2. Сформулюйте технологічні вимоги до різального інструменту.
3. В чому полягає відмітність цільного інструменту від складеного?.
4. Перелічить основні типи кріплення інструменту.
5. Основні етапи конструювання інструменту?
6. Основні типи кріплення різальних елементів?
7. Види з'єднання інструментів з верстатом?
8. Перелічить види форми посередньої поверхні різальної частини інструменту.

9. Перелічить основні типи форми задньої поверхні різальної частини інструменту.
10. Основне призначення стружкових канавок?

## Література

- [1] Алексеев Г. А. Конструирование инструмента / Г. А. Алексеев, В. А. Аршинов, Р. М. Кричевская. – М: Машиностроение, 1979. – 384 с.
- [2] Жигалко И. И. Проектирование и производство режущих инструментов / И. И. Жигалко, В. В. Киселев. – Минск: Высшейшая школа, 1968. – 279 с.
- [3] Фельдштейн Е. Э. Металорежущие инструменты. Справочник конструктора / Е. Э. Фельдштейн, М. А. Корниевич. – Минск: Новое знание, 2009. – 1039 с.
- [4] Шагун В. И. Режущий инструмент. Проектирование. Производство. Эксплуатация / В. И. Шагун. – Минск: Пион, 2002. – 496 с.
- [5] Фрумин Ю.Л. Комплексное проектирование инструментальной оснастки. -М.: Машиностроение, 1987. - 195 с.
- [6] Юликов М.И., Горбунов Б.И., Колесов Н.В. Проектирование и производство режущего инструмента. - М.: Машиностроение, 1987. - 296 с.

Не прагни знати усе, щоб не  
стати в усьому неуком.

*Демокріт*

## 5 Інструментальні матеріали

Властивості традиційних інструментальних матеріалів не залежать від напрямку, тобто вони ізотропні. Останніми роками інтенсивно розвивається галузь матеріалознавства, пов'язана з проектуванням і виробництвом композиційних матеріалів, яка включила в сферу своєї уваги і матеріали різальних інструментів. Це привело до того, що до теперішнього часу з'явився цілий напрям в області інструментальних матеріалів, пов'язаний з розробкою способів отримання і з випробуванням композитів для різальних інструментів.

**Оптимізація.** В той же час критерії оптимізації властивостей такого роду інструментальних матеріалів нечітко сформульовані і часто не враховують основних закономірностей як процесу різання, так і експлуатації різальних інструментів. Останнє не дозволяє цілеспрямовано проектувати і виготовляти інструментальні матеріали із заздалегідь заданими властивостями. Тому проблема оптимального проектування інструментальних композитів представляється сучасною і надзвичайно актуальною.

### Типи інструментальних матеріалів

Всі відомі інструментальні матеріали можна розділити на:

- металеві;
- неметалеві;
- і композиційні.

У металевих матеріалах можуть міститися не-великі домішки не-металів, обумовлені технологією отримання матеріалу, а також необхідний для утворення карбідів вуглець і для отримання оксидів – кисень. Аналогічно в структурі неметалічних інструментальних матеріалів можливі домішки металів в незначній кількості. Сплави, спечи і багат шарові матеріали, що складаються з матеріалів різних видів і різновидів, відносяться до композиційних матеріалів,

при цьому можливі комбінації з металів і неметалів або ж тільки з металів.

## **Групи**

Разом з тим в класифікації включені інструментальні матеріали, що представляють інтерес з погляду історичної або ж пошуку нових напрямів розвитку, але що не випускаються промисловістю повністю, а що якщо і випускаються, то обмежено (наприклад, швидкорізальні сталі марок Р9, Р18, поширені марки безвольфрамових сталей і сплавів і ін.)

Класифікації подані по чотирьох групах матеріалів:

- інструментальним сталям;
- інструментальним сплавам;
- кераміці;
- і надтвердих матеріалах.

Кожна з груп розбита на види і різновиди матеріалів, їм дані відповідні коментарі.

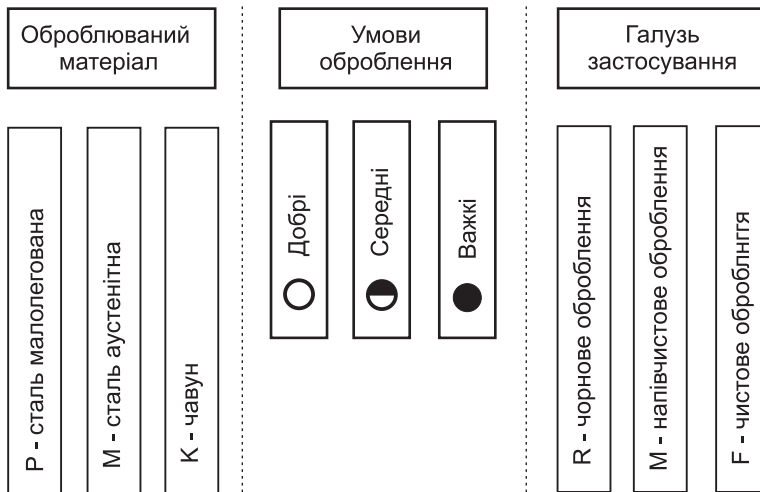
Роботи що ведуться в нашій країні і за кордоном роботи із створення нових матеріалів, як правило, завершуються публікаціями рекламного характеру без розкриття складів, фізико-хімічних властивостей, особливостей технології виготовлення. Тому через брак інформації ряд матеріалів не включений до класифікації.

Особливо широко розвивається розробка надтвердих матеріалів. Поки не синтезовано жодного матеріалу, що перевершує по властивостях алмаз або кубічний нітрид бору. Пошук ведеться у напрямі розширення діапазону фізико-механічних властивостей цих і подібних до них матеріалів за рахунок введення легуючих і армуючих добавок з окислу алюмінію, карбиду бору, вольфраму, молібдену, нікелю. Виходять композиційні надтверді матеріали (СТМ).

Перспективні спроби підвищення якості полікристалів шляхом попередньої обробки початкових матеріалів високотемпературним нагрівом, органічними розчинниками, воднем, поверхнево-активними речовинами, бомбардуванням у вакуумі позитивними іонами. Успішні розробки по збільшенню розмірів полікристалів.

## Позначення

На жаль, в світовій практиці немає загальноприйнятої розшифровки інструментальних матеріалів, що утрудняє пошук відповідних аналогів матеріалів у нас в країні і закордоном. Так, один і той же матеріал на основі кубічного нітриду бору має назви і позначення: КНБ, боразон, кубоніт, ельбор (по першій букві колишнього міста Ленінграда).



Але і вітчизняні позначення матеріалів також розрізняються великою різноманітністю, не містять внутрішньої єдності, особливо останніми роками. З метою збереження "ноу-хау" в складі і технології матеріалів, різні фірми дають їм специфічні назви, що виключають іноді будь-яку порівняльну оцінку ріжучих можливостей без вивчення рекламних матеріалів або консультації з виробником. З цієї причини до приведених нижче класифікацій не увійшли деякі різновиди нових матеріалів. Не увійшли до класифікацій і сумнівних по своїй ефективності матеріали.

## 5.1 Вимоги до інструментальних матеріалів

Ріжучі властивості, тобто здатність інструментів обробляти матеріали різанням протягом заданого часу з обумовленою точністю і

якістю, залежать від властивостей інструментальних матеріалів, що утворюють різальне лезо.

Здатність інструментів зрізувати стружку протягом певного часу, залежать від властивостей інструментальних матеріалів [1, 2], з яких утворено різальне лезо.

Інструментальні матеріали в конструкціях інструментів повинні володіти двома основними властивостями:

- міцністю;
- і зносостійкістю.

### **Міцність**

Міцність забезпечує збереження форми леза при силовому навантаженні в процесі різання. Руйнування леза може бути крихким, а при високих температурах нагріву і пластичним. У першому випадку мають місце обсіпання, викришування і зколи, в другому - пластична течія з подальшим зрізом малих об'ємів інструментального матеріалу.

Оскільки руйнування можуть залежати від циклічної зміни навантаження на лезі по напрямку і знаку, то слід підвищувати межу втоми інструментальних матеріалів. Термічні удари, наприклад, при переривистому різанні, нерівномірному охолодженні леза приводять до розтріскування інструментального матеріалу. Тому важливо мати уявлення про опір матеріалу термодинамічним навантаженням.

Крихка і пластична міцність залежать від комплексу фізико-механічних властивостей інструментальних матеріалів. Найважливіші з них: твердість, межі міцності при розтягуванні, стисненні і вигині, ударна в'язкість, модуль пружності. Для матеріалів, що отримуються пресуванням, необхідно контролювати щільність. Фізико-механічні характеристики бажано знати не тільки в холодному стані, але і при нагріві.

Руйнування леза може бути крихким, а при високих температурах, що супроводжують процес різання, і пластичним:

- у першому випадку мають місце осипання, викришування і зколи,
- в другому - пластична течія з подальшим зрізом малих об'ємів інструментального матеріалу.

Інтенсивність руйнування залежить від наявності циклічної змі-

ни навантаження на лезі. Термічні удари (наприклад, при переривистому різанні, нерівномірному охолодженні) леза приводять до розтріскування інструментального матеріалу.

### **Зносостійкість**

Зносостійкість характеризує опір інструментального матеріалу абразивному зношуванню лез. Абразивне зношування полягає в руйнуючій дії твердих частинок при відносному переміщенні контактних поверхонь заготовки і інструменту, а також в сколюванні мікронерівностей, що утворюються при зносі інструменту.

Зношуванню сприяють структурні зміни інструментального матеріалу і зниження твердості при нагріві в процесі різання. Структурні перетворення можуть бути пов'язані з утворенням нових фаз у приконтakтному шарі металів, з окисленням матеріалу, з розпадом карбідів унаслідок дифузії вуглецю.

Можливі і хімічні перетворення, наприклад, при взаємодії інструментального матеріалу з хімічно активними змащувальними та охолоджувальними технологічними засобами, які прискорюють абразивний знос.

Оцінюють зносостійкість по відношенню роботи сил тертя до маси продуктів зносу або ж по інтенсивності зношування, тобто відношенню маси продуктів зносу до шляху різання.

Руйнування і абразивне зношування залежать від ряду, зокрема вищезазначених, властивостей, що взаємодіють при різанні матеріалів. Одне з них - спорідненість інструментального і оброблюваного матеріалів.

Слід розрізняти злипаємість, адгезійну взаємодію і хімічну реактивність матеріалів.

### **Злипаємість**

це здатність матеріалів утворювати нарости і утримувати їх на інструменті. Міцний зв'язок наросту з інструментом веде до руйнувань на лезі при сколи наросту.

### **Адгезійна взаємодія**

виявляється у вигляді схоплювання при відносному переміщенні матеріалів деталі та інструменту. Таке руйнування супроводжується викиданням частинок інструментального матеріалу в зоні контакту зі стружкою.

**Хімічна реактивність**

це здатність елементів інструментального матеріалу вступати в хімічну взаємодію з елементами оброблюваного матеріалу.

**Температура та твердість**

Важлива властивість інструментального матеріалу - теплостійкість. Вона характеризується опором зниженню твердості при нагріві, утворенням вторинної твердості при охолоджуванні після нагріву, опором термічним ударам, дифузійною стійкістю і окалиностійкістю.

Падіння твердості при нагріві пов'язане з порушенням міжатомних зв'язків в інструментальному матеріалі. Відновлення таких зв'язків при охолоджуванні веде до утворення вторинної твердості на рівні твердості до нагріву.

Опір термічним ударам обумовлений достатньою пластичністю і малим термічним розширенням інструментального матеріалу, що перешкоджають розвитку внутрішніх тріщин - концентраторів напружень.

Дифузійна стійкість пов'язана з особливостями кристалічної структури і хімічної будови інструментального матеріалу, що перешкоджають переміщенням атомів, що додають твердість, в оброблюваний матеріал.

Окалиностійкість є нездатність інструментального матеріалу окислюватися при нагріві. Зниженню тепловий напружень лека сприяє така властивість, як теплопровідність інструментального матеріалу, що забезпечує відтік теплоти із зони різання через інструмент.

Тепловиділення при різанні залежить не тільки від роботи утворення стружки, але і від тертя по контактних поверхнях. Тому розглядають таку характеристику як коефіцієнт тертя на передній і задній поверхнях інструменту, що впливає до того ж на завантаженість лека. Його величина залежить від фізико-механічних властивостей, спорідненості матеріалів, температури різання, шорсткості поверхонь інструменту та властивості охолоджуючої рідини.

**Загал**

Отже, основним параметром який визначає якість інструменту є його зносостійкість. практика експлуатації різального інструменту



показала, що найчастіше головною причиною заміни інструменту є зношення різальних елементів.

Розрізняють декілька процесів взаємодії між матеріалом інструменту і деталі при їх взаємному контакті, які впливають на здатність інструменту зрізувати стружку. Практично це будь-які фізичні процеси що відбуваються у середовищі де формуються поверхня деталі. Головними з них є такі, найбільш впливові, процеси.

#### **Абразивне зношування**

Абразивне зношування полягає в руйнівній дії твердих частинок при відносному переміщенні контактних поверхонь заготовки і інструменту. Зношуванню сприяють структурні зміни інструментального матеріалу і зниження твердості при нагріві в процесі різання.

#### **Адгезійне зношування**

Адгезійне зношування проявляється у вигляді мікрозварювання інструмента і деталі при їх взаємному терті. Адгезійне зношування супроводжується вириванням частинок інструментального матеріалу. Міцний зв'язок наросту з інструментом веде до руйнування леза у разі руйнування наросту.

#### **Хімічна реактивність**

Хімічна реактивність – це схильність хімічних елементів інструментального матеріалу вступати в хімічну взаємодію з елементами оброблюваного матеріалу.

#### **Теплостійкість**

Теплостійкість характеризується здатністю інструмента працювати при підвищеній температурі. Падіння твердості при нагріванні пов'язане з порушенням міжатомних зв'язків в інструментальному матеріалі.

#### **Дифузійна стійкість**

Дифузійна стійкість пов'язана з особливостями кристалічної структури і хімічної будови інструментального матеріалу, що перешкоджають переміщенням атомів між інструментом і деталлю.

## **5.2 Вуглецеві сталі**

Сталь – це сплав заліза з вуглецем [1]. Якщо сталь містить більше 0,65% вуглецю, то вона відноситься до інструментальних. Із зроста-

нням змісту вуглецю до 1 % збільшується твердість сталі, але одночасно падає міцність, підвищується небезпека утворення тріщин при термообробці (гарту).

Підвищення вмісту вуглецю понад 1,2% веде до зниження міцності через виникнення неоднорідності структури. Кращу міцність мають сталі із змістом вуглецю 1,1...1,2%, що зберігають дрібнозернисту будову і мало схильні до розвитку тріщин при гарті.

Табл. 5.1: Інструментальні сталі

Матеріал	Різновид	Позначення	Розшифровка
Вуглецева сталь	Якісна сталь	У7...У13	У - вуглецева; цифра означає десяти долі відсотка вуглецю
	Високо якісна сталь	У7А...У13А	А - сталь чистіша по змісту сірі, фосфору, залишкових домішок і неметалічних включень, більш звужені межі змісту марганцю і кремнію

**Особливість** вуглецевих інструментальних сталей в тому, що при високій твердості поверхневого шару серцевина інструментів залишається в'язкою. Це добре, оскільки при хорошій зносостійкості лез одночасно забезпечується міцність самого інструменту.

**Твердість** різальних елементів інструменту виготовленого з вуглецевої сталі після гарту і відпустки становить 56...58 одиниць по шкалі HRC.

Для довідки. Відносно добрий мисливський ніж має твердість близько 50...52 одиниць по шкалі HRC.

**Температура** різання для неї, навіть при короточасному нагріві, не повинна перевищувати 250°. В протилежному випадку вона втрачає різальні властивості (твердість).

**Швидкість** різання для інструментальних сталей не дуже висока и не перевищує 4...7 м/хв.

Через малу товщину загартованого шару, вуглецеву сталь не застосовують для інструментів великих розмірів (завтовшки понад 30

Табл. 5.2: Хімічний склад вуглецевих сталей

Марка сталі	C, %	Mn, %	Примітки
У7, У7А	0,65...0,74	0,3...0,4	Літера “А” означає, що сталь має зменшений відсоток домішок. Застосовується на верстатах-автоматах.
У8, У8А	0,75...0,84		
У9, У9А	0,85...0,94		
У10, У10А	0,95...1,04		
У11, У11А	1,05...1,14		
У12, У12А	1,15...1,24		
У13, У13А	1,25...1,35		

мм). До переваг сталі слід віднести здібність до пластичного деформування та низькі температури гарту.

Інструменти з вуглецевої сталі при гартування змінюють свій об'єм на 0,8...1,1%, деформуються і втрачають форму. Тому повинні мати невелику довжину і простий профіль.

При високому нагріві вуглець вигоряє з поверхні інструменту, що знижує твердість і різальні властивості інструменту. Отже, шліфування такої сталі повинне здійснюватись із застосуванням заходів охолодження.

**Маркування** вуглецевої сталі (табл. 5.2) складається з літери “У” та цифр. Наприклад У7, де:

- літера “У” – від російського “углерод”;
- цифри – вуглець у десятих долях відсотка (0.7%).

Вуглецева інструментальна сталь знаходила широке застосування до 80-х років ХХ сторіччя. Низька вартість і відсутність дефіцитних елементів обумовила її використання і в сучасному виробництві, але тільки для виготовлення ручних інструментів.

### Сталь У7, У7А

- для інструментів по дереву:
  - сокир колунів, стамесок, доліт;
- пневматичних інструментів невеликих розмірів :
  - зубил, обтискань, бойків;
- ковальських штампів;

- голкового дроту;
- слюсарно-монтажних інструментів:
  - молотків, кувалд, викруток, комбінованих ручних слюсарних інструментів;
- риболовецьких гачків та ін.

### **Сталь У8, У8А, У9, У9А**

- для виготовлення інструментів, працюючих в умовах, що не викликають розігрівання різальної кромки;
  - обробка дерева :
    - \* фрез, зеркерів, поковок, сокир, стамесок, доліт, пил подовжніх і дискових;
- накатних роликів, плит і стержнів для форм литва під тиском олов'яно-свинцевих сплавів.
- для слюсарно-монтажних інструментів:
  - обтискань для заклепок, кернерів.
- для калібрів простої форми і знижених класів точності;
- холоднокатаної термообробленої стрічки завтовшки від 2,5 до 0,02 мм, призначеною для виготовлення:
  - плоских і витих пружин складної конфігурації,
  - клапанів,
  - щупів,
  - конструкційних дрібних деталей, у тому числі для годинника і т. ін.

### **Сталь У10, У10А, У11, У11А**

- для виготовлення інструментів, працюючих в умовах, що не викликають розігрівання різальної кромки:
  - обробки дерева :
    - \* пил ручних поперечних і столярних,
    - \* пил машинних столярних, свердел спіральних;
- штампів холодного штампування (витяжних, обрізів і вирубних) невеликих розмірів і без різких переходів по перерізу;
- калібрів простої форми і знижених класів точності; накатних роликів, напилків, шаберів слюсарних та ін.

- для напилків, шаберів;
- холоднокатаної термічно обробленої стрічки завтовшки від 2,5 до 0,02 мм, призначеною для виготовлення плоских і витих пружин і пружних деталей складної конфігурації;
- клапанів, шупів, конструкційних дрібних деталей, у тому числі для годинника і т. д.

### Сталь У12, У12А

- для мітчиків ручних, напилків, шаберів слюсарних;
- штампів для холодного штампування обрізів і вирубних невеликих розмірів і без переходів по перерізу;
- пуансонів холодного висаджування і штемпелів дрібних розмірів;
- калібрів простої форми і знижених класів точності.

### Сталь У13, У13А

- для інструментів з підвищеною зносостійкістю при помірних і значних питомих тисках (без розігрівання різальної кромки);
  - напилків,
  - бритвених лез і ножів,
  - гострих хірургічних інструментів,
  - шаберів,
  - інструментів гравіювань.

У табл.5.3 наведено перелік інструментів які виготовляють із вуглецевих сталей.

Табл. 5.3: Інструмент з вуглецевої сталі

Інструмент	Сталь	Твердість <i>HRC</i>
Ножиці	У8А – У12А	52...60
Ножовочні полотна	У10 – У12	58...61
Свердла для оброблення матеріалів не високої твердості	У10 – У12	59...63
Розвертки	У10...У12	60...64

Інструмент	Сталь	Твердість <i>HRC</i>
Фрези насадні, пазові, кутові	У10 – У12	61...64
Фрези напівкруглі чорнові	У10...У12	61...64
Мітчики ручні	У10А...У12А	58...61

### 5.3 Леговані сталі

Легованою називається сталь [1, 2], що містить один або декілька спеціальних легуючих елементів (хром, ванадій, молібден табл.5.4) в різних комбінаціях і в кількості, що помітно змінює її властивості, або що містить підвищену кількість марганцю і кремнію. У табл.5.5 наведено основні марки інструментальних мало легковагових сталей.

Табл. 5.4: Позначення легуючих елементів

Х – хром	М – молібден	Б – ніобій	Р – бор
Н – нікель	Т – титан	Д – мідь	С – кремній
К – кобальт	В – вольфрам	Г – марганець	Ф – ванадій

**Хром** – зменшує зростання зерна, підвищує прожарювання і дозволяє обходитися при гарті без різких охолоджувальних засобів.

**Вольфрам** – підвищують різальні властивості сталі. Вольфрам утворює різальні тверді карбіди, що зменшують зерно і що підвищують твердість сталі.

**Ванадій** – діє як і вольфрам, але зменшує прожарювання і гарт.

**Марганець** – знижує об'ємні деформації в інструменті.

**Кремній** – забезпечує стійкість сталі проти перегріву. Зберігаючи високу твердість при заточуванні, робить розподіл карбідів рівномірним, але погіршує оброблюваність сталі різанням.

Малолеговані сталі застосовують для виготовлення конкретних типів інструменту. Це відносно недорогі матеріали. Склад основних малолегованих сталей наведено у табл. 5.6

Сталь 9ХС використовується як і сталь ХВГ, але менш схильна до утворенні тріщин.

Сталь ХВГ із-за малого викривлення при термообробці і задовільній здатності до правки кривизни в гарячому і холодному стані хо-

роша для довгих інструментів. Її недоліки: схильність до утворення тріщин при заточуванні, нерівномірний розподіл карбідів у вигляді сітки, що підсилює крихкість при різанні

Сталь Х використовують для дешевого ручного інструменту у тих випадках коли важлива відсітність зміни форми інструменту після термчної оброблення.

Табл. 5.5: Малолеговані сталі

Матеріал	Різновид	Позначення	Розшифровка
Сталь мало легована	Хромова сталь	Х, ХГ	Х – хром Г – марганець
	Хромо- кремніста сталь	9ХС	С – кремній, цифра означає десяти відсотка вуглецю
	Вольфрамова сталь	В1	В – вольфрам, цифра означає процентний зміст вольфраму
	Хромо- вольфрамова сталь	ХВ5	
	Хромо- вольфрамо- марганцева сталь	ХВГ	
	Хромо- вольфрамо- кремнієво- марганцевіста сталь	ХВСГ	
	Хромо- вольфрамо- ванадієва сталь	Х6ВФ	Ф – ванадій

Загалом кожна з марок малолегованої сталі має обмежене застосування. Їх використовують для виготовлення конкретного типу інструменту.

Табл. 5.6: Малолеговані сталі

Марка	C, %	Mn, %	Si, %	Cr, %	W, %
ХВГ	0,9...1,05	0,8...1,1	0,15...0,35	0,9...1,2	1,2...1,6
9ХС	0,85...0,95	0,3...0,6	1,2...1,6	0,95...1,25	–
Х	0,95...1,1	< 0,4	< 0,35	1,3...1,6	–

**Твердість** різальних елементів інструменту виготовленого з малолегованої сталі після гарту і відпустки становить 63–65 одиниць по шкалі HRC.

Для довідки. Відносно добрий ручний напилек має твердість біля 63...64 одиниць по шкалі HRC

**Температура** різання для інструменту з малолегованої сталі не повинна перевищувати 300°C.

**Швидкість** різання зазвичай лежить в межах 10...15 м/хв.

У низьколегованих сталях Х, 9ХС, ХВГ, ХВСГ основний легуючий елемент - хром.

**Сталь Х** легована тільки хромом. Підвищений вміст хрому значно збільшує її глибину проникнення гарту. Сталь Х прожарюється в олії повністю в перерізі до 25 мм, а сталь У10 - тільки в перерізі до 5 мм. Застосовують сталь Х для виготовлення токарних, стругальних і довбальних різців.

**Сталь 9ХС** окрім хрому легована кремнієм. В порівнянні із сталлю Х вона має велику глибину проникнення гарту - до 35 мм; підвищену теплостійкість - до 250-260°C (сталь Х до 200-210°C) і кращі різальні властивості. Із сталі 9ХС виготовляють свердла, розвертки, фрези, мітчики, плашки.

**Сталь ХВГ** легована хромом, вольфрамом і марганцем; має проникнення гарту на глибину до 45 мм. Сталь ХВГ використовують для виробництва великих і довгих протяжок, довгих мітчиків, довгих розверток і т. п.

**Сталь ХВСГ** складно-легована сталь і в порівнянні із сталями 9ХС і ХВГ краще гартується і на більшу глибину. При охолодженні в олії вона прожарюється повністю в перерізі до 80 мм. Вона менше чутлива до перегрівання. Теплостійкість її така ж, як у сталі 9ХС. Сталь ХВСГ застосовують для виготовлення круглих плашок, розверток, великих протяжок і іншого різального інструменту.



## 5.4 Швидкорізальні сталі

Високолеговані інструментальні сталі [1, 2] високої твердості називаються швидкорізальними. Висока твердість швидкорізальних сталей отримується в результаті термічної оброблення, коли відбувається виділення зміцнюючих фаз (складних карбідів вольфраму, молібдену, ванадію, що створюють зміцнення карбіду).

**Історія виникнення** швидкорізальної сталі досить “романтична”. Хімічний склад сталі був відомий ще на початку XIX століття. Її загартовували при температурі 900–950°C отримуючи інструментальну сталь, яка мало чим відрізнялась від інших. У 1898 році американський інженер F.W. Taylor загартовував різці з “швидкорізальної” сталі. Однак щось його відволікло і він забув про піч в якій лежали різці. Коли ж згадав, то різці вже розжарились до 1400°C. Таким чином і була “відкрита” швидкорізальна сталь.

Хімічний склад швидкорізальної сталі дуже різний. У теперішній час існує більш ніж сотня марок швидкорізальної сталі. Кожна з яких призначена для застосування у конкретних технологічних процесах. Швидкорізальні сталі загального використання мають наступні легуючі елементи.

**Хром Cr** – обов’язковий елемент швидкорізальної сталі, він забезпечує підвищення схильність до гарту.

**Вольфрам W** – підвищує твердість і зносостійкість інструментального матеріалу, знижує міцність і в’язкість, а також теплопровідність сталі.

**Молібден Mo** – підвищує міцність і в’язкість швидкорізальної сталі завдяки поліпшенню розподілу і зменшення розмірів карбідів. Проте при вмісті молібдену більш ніж 3% сталь стає чутливою до прижогов.

**Ванадій V** – при одночасному збільшенні вуглецю підвищує твердість, опір пластичній деформації і теплостійкість.

**Кобальт Co** – підвищує теплостійкість, твердість, придатність до шліфування і теплопровідність сталі. Однак, разом в тим, знижує її міцність і в’язкість.

Молібденові і вольфрамо-молібденові сталі при різанні з підвищеною подачею і помірною швидкістю різання стійкіші, ніж вольфрамові, внаслідок більшої міцності і в’язкості.

**Титан, ніобій, цирконій, тантал** – утворюють дуже стійкі карбіди, які затримують зростання зерна при гарті.

**Нікель і марганець** – знижують теплостійкість сталі і не покращують її ріжучих властивостей.

Табл. 5.7: Швидкорізальні сталі

Матеріал	Різновид	Позначення	Розшифровка
Швидко різальна сталь	Нормальної теплостійкості	P9, P12 P18, P6M5	P – вольфрам М - молібден, цифри означають процент-ний зміст металу
	Підвищеної теплостійкості	P9K5 P9K10 P18Ф2 P14Ф4 P12Ф3 P9Ф5 P10Ф5K5 P18Ф2K5 P8M3K6C P9M4K8 P12Ф4K5 P12M3Ф2K8 P6M5K5 10P8M3 10P6M5	K - кобальт
	Порошкова	P9П, P18П, P6M5П, P6M5K5П	П - порошковий матеріал
	Мало вольфрамова	P2M5	
	Безвольфраміві	11M5Ф 11P3AM3Ф2 15M5X5Ф5C	Експериментальна
	Лита	Рл-1, Рл-2, Рл-3, Рл-4	л – лита

Вплив легуючих елементів на властивості сталі залежить від її співвідношення, оскільки між елементами можливий взаємовплив. Хімічний склад найбільш поширених марок швидкорізальної сталі приведений в табл. 5.8.

Табл. 5.8: Швидкорізальні сталі

Марка	C, %	W, %	Cr, %	V, %	Mo, %
P6M5	0,8...0,9	5,5...6,5	3,8...4,4	1,7...2,1	1,0
P18	0,7...0,8	17...18,5	3,8...4,4	1,0...1,4	1,0

По своїх властивостях найбільш універсальною є сталь P18. Вона придатна для будь-яких різальних інструментів, добре шліфується та технологічна. Однак, внаслідок великого вмісту дефіцитного вольфраму, вона має обмежене застосування.

Основною маркою для широкого використання є сталь P6M5, близька по різальним властивостям до сталі P18, але дешевша. Всі швидкорізальні сталі (а їх більше сотні) мають знижені властивості до шліфування.

**Твердість** швидкорізальної сталі після гарту і відпустки зазвичай складає одиниць 63...66 по шкалі HRC.

**Теплостійкість** більшості марок швидкорізальної інструментальної сталі знаходиться в межах 620...640°C.

#### 5.4.1 Структура швидкорізальних сталей

Структура швидкорізальних сталей в отожженому стані складається з фериту, в якому розчинена частина хрому, наявного в сталі, і карбідів легуючих компонентів. Це карбіди на основі вольфраму і молібдену. Ці карбіди мають складний склад. Крім атомів основного карбідо-утворюючого компонента, в них присутні в певних кількостях атоми заліза та інших легуючих компонентів. Зміцнююча термічна обробка швидкорізальних сталей, що включає загартування і відпуск, повинна забезпечити високі значення твердості і теплостійкості. Це може бути досягнуто за рахунок високого легування твердого розчину, одержуваної при загартуванні, і інтенсивного дисперсійного твердіння в процесі відпустки.

#### Загартування

Нагрівання під загартування швидкорізальних сталей повинен забезпечити розчинення в аустеніт великої кількості карбідів. Карбід на основі хрому повністю розчиняється в аустеніт при 1100°C.

Таким чином, для забезпечення високої легуванні твердого розчину температура гарту швидкорізальних сталей повинна бути вище 1200°C, тобто перевищувати температуру розчинення основного карбиду.

### **Відпуск**

При відпустці швидкорізальних сталей повинно бути реалізовано: дисперсійне твердіння, зняття гартівних напруг, тобто перетворення мартенситу гарту в мартенсит відпустки, а також перетворення залишкового аустеніту в мартенсит. Ці завдання вирішуються, по-перше, вибором температури ізотермічної витримки при відпустці і, по-друге, за рахунок того, що відпустка виконується багато разів.

Відпустка загартованої сталі при температурі 150...200°C викликає виділення з мартенситу карбідів цементітну типу, при цьому концентрація легуючих компонентів у твердому розчині мало змінюється. Твердість сталей при цьому практично постійна. Її значення падають при підвищенні температури відпустки до 300°C.

При більш високих температурах відпустки відбувається виділення з твердого розчину великої кількості дисперсних карбідів на основі легуючих компонентів, тобто дисперсійне твердіння. У результаті цього твердість зростає і досягає максимуму при 550-570°C.

Твердість, що отримується в результаті високотемпературного відпустки, називається вторинною (на відміну від високої твердості після гарту - первинної). Для відпустки призначається саме ця температура, що забезпечує отримання максимального твердості.

Характерно, що провал твердості в результаті відпустки при 300°C спостерігається тільки для загартованої сталі. У тому випадку, якщо проводиться нагрів сталі, раніше відпущеної на максимальну твердість цього провалу немає.

### **5.4.2 Технологія термічної обробки.**

Класична термічна обробка інструменту з швидкорізальних сталей складається з операцій гарту і триразового (дворазового) відпустки при 550...570°C з ізотермічної витримкою 1 годину.

Нагрівання під загартування здійснюється з попереднім підігрівом при температурах, що перевищують температуру близько 850°C в печі і 1050°C в розправлених солях. Це уповільнює нагрівання

до температур гартування, що запобігає появі термічних напружень внаслідок швидкого нагріву.

Витримка при підігріві 15...20 секунд на 1 мм діаметра (товщини), при остаточному нагріванні близько 10 секунд на 1 мм.

Для попередження знеуглецювання поверхневих шарів інструменту, що веде до втрати твердості, нагрівання під загартування здійснюють у розплавлених солях. Висока легування аустеніту дозволяє виконувати охолодження при гартуванні з невисокими швидкостями (масло або гарячі середовища).

Підвищення температури загартування понад оптимальної (перегрів) призводить до зростання твердості і теплостійкості, але міцність і в'язкість при цьому знижуються через зростання зерна.

Гарт від температур нижче оптимальних (недогрів) призводить до протилежного ефекту.

Отже, гарт швидкорізальної сталі іде у такій послідовності:

- попередній підігрів до 850 °C;
- витримка 1 годину;
- підігрів до 1050 °C;
- витримка 10...15 секунд на 1мм товщини деталі;
- гартування;
- тричі відпуск при температурі 550 °C з витримкою 1 годину.

### **5.4.3 Властивості швидкорізальних сталей.**

В основу класифікації швидкорізальних сталей за властивостями покладена теплостійкість, яка визначає допустимі швидкості різання, тобто продуктивність обробки. Теплостійкість є стандартною характеристикою швидкорізальних сталей.

#### **Сталі нормальної продуктивності**

До них відносяться вольфрамові (P18, P12, P9) і вольфрамо-молібденові (P6M5); твердість сталей 63...65 HRC. Ці сталі призначені для обробки конструкційних матеріалів (800...1000 МПа), чавунів (твердістю до 255-280 HB) і кольорових металів і сплавів, що мають добру оброблюваність.

Властивості сталей цієї групи близькі. Вольфрамові мають дещо більшою теплостійкістю у порівнянні з вольфрамо-молібденовими,

але їх механічні властивості нижче. При використуваних режимах різання відмінності у властивостях сталей мало позначаються на стійкості інструмента (до 40 м/хв при обробці чорних і до 80 м/хв при обробці кольорових металів).

За технологічними властивостями сталі, мають певні відмінності. Сталь Р6М5 має більшу пластичність в порівнянні з вольфрамовими сталями, але менш технологічна при термічній обробці. Вона має більшу схильність до знеуглецювання при нагріванні, для неї характерний більш вузький інтервал гартівних температур.

Оброблюваність різанням при лезовій обробці всіх сталей близька, їх твердість у не загартованому стані відповідно до ДСТУ не повинна перевищувати 255НВ. Оброблюваність шліфуванням сталей Р18, Р12 і Р6М5 за ДСТУ оцінюється як задовільна, тоді як стали Р9 - як знижена. Це пов'язано з великим вмістом ванадію в цій сталі, що утворює карбід VC високої твердості.

### **Сталі підвищеної продуктивності**

Більш висока продуктивність сталей цієї групи досягається за рахунок підвищення вмісту вуглецю до 1%, ванадію до 3...4% і введення кобальту. Це такі сталі як Р18Ф2, Р9К5, Р9К10, Р14Ф4, Р10К5Ф5. Але у виготовленні металорізального інструменту їх застосовують край рідко – дорого.

### **Висновки**

Найбільш поширеною швидкорізальною сталлю є сталь Р6М5. Її основна перевага - підвищена твердість 65...66 HRC. Рационально застосовувати цю сталь для виготовлення інструменту, стійкість якого лімітує розмірний знос (розвертки, мітчики, зенкери), а також для обробки поліпшених сталей підвищеної твердості – 260...300 НВ.

## **5.5 Тверді сплави**

Тверді, або так звані металокерамічні інструментальні сплави - це матеріали, що складаються з карбідів вольфраму, титану і танталу, зв'язаних кобальтом [4]. Це не сталі, оскільки в них немає заліза. Свою назву "твердий сплав" вони отримали із-за високої твердості карбідів і матеріалу в цілому і за первинною технологією отриман-

ня на основі розплавлення компонентів з подальшим відливанням. Надалі технологію замінили на іншу (порошкову металургію), але назва "сплав" збереглась.

Загальна кількість різального інструменту з твердого сплаву не перевищує 25%, але із-за високої швидкості різання (у 2,5...3 рази вище в порівнянні зі швидкорізальним інструментом) вони знімають до 65% усієї стружки (з усього об'єму стружки, що знімається інструментами з усіх інструментальних матеріалів, що мають). Стандартні тверді сплави складаються з:

- тугоплавких з'єднань (карбіду вольфраму, карбіду титану і карбіду танталу)
- та єднальної фази (кобальт) що поєднує між собою карбіди.

## Історія

Історія виникнення твердого сплаву складна. Вперше "твердий сплав" отримали у 1924 році напиливши суміш порошків через газове полум'я. Ніякого вольфраму у складі порошку не було. Десь у 30-ті роки, із порошку, отримали щось схоже на сучасний твердий сплав. Після 1945 року його назвали "победіт". Сучасна назва та хімічний склад поширились наприкінці 60-х років.

Вітчизняний твердий сплав "победіт" був винайдений і запатентований в 1929 році. Дещо раніше, в 1926 р., подібний сплав був створений фірмою "Крупп" в Німеччині. Обидва ці сплави по складу були з порошків карбіду вольфраму, але в різних пропорціях. Головна відмінність полягала лише в технології виготовлення пластин. У німців суміш порошків засипалася у форму і розплавлялася в ній, радянські фахівці заздалегідь пресували подрібнену в пил суміш компонентів.

Німецька технологія не показала практичних результатів, тому вони перші після публікації придбали радянський патент на "победіт". У літературі можна зустріти такі назви твердих сплавів, як "Відіа" (Widia, Німеччина), "Карболой" (Carbology Inc., США) - це компанії, які придбали радянський патент.

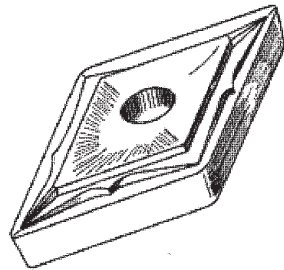


Рис. 5.1: Пластина твердого сплаву

Тверді матеріали і тверді сплави спочатку знайшли застосування не в якості різальних матеріалів, а матеріалів для виготовлення волок для волочіння дроту замість алмазних.

На практиці "победіт" не показав високих результатів при точінні сталей, тому він був рекомендований для обробки чавунів. Роботи по вдосконаленню тривали. В середині 30-х років був розроблений новий твердий сплав з суміші карбідів вольфраму і титану (вольфрамо-титанова група ВТК), який показав задовільні результати при обробці сталей, але був малоефективний при обробці чавуну.

Сплави групи ВТК позначалися "a15" (сучасний T15K6) і "a21" . Сплави рекомендувалися для обробки вуглецевих сталей. Швидкість різання сплавами ВК і ВТК була підвищена в 2...3 рази.

Світовими центрами виробництва твердих сплавів для обробки металів різанням є сьогодні Німеччина, Австрія і США. У Європі власниками найважливіших патентів на виробництво вольфрамових твердих сплавів є німецька фірма "Крупп Відія" (м. Ессен), на виробництво титано-вольфрамових сплавів - фірма ДЭВ (м. Крефельд). Декілька важливих патентів на виробництво твердих сплавів має австрійська фірма "Белер". Усі інші фірми виробництва твердих сплавів в Європі працюють на основі ліцензій фірм "Крупп Відія" і "ДЭВ".

У 1936 році усі німецькі заводи, що виробляють тверді сплави, об'єдналися в "Концерн твердих сплавів". Пізніше до цього Концерну приєдналися австрійські фірми. В результаті встановлення єдиного складу основних марок твердих сплавів, технології виготовлення, централізації виробництва порошків на західних фірмах і постачань дочірнім підприємствам, Концерн забезпечив високу якість твердих сплавів в Європі.

Тверді сплави застосовуються у вигляді пластинок різної форми, отриманих методами порошкової металургії спіканням карбідів вольфраму, титану і танталу, з кобальтом або нікелем і молібденом. Сучасна форма різального елемента виготовленого із твердого сплаву подано на рис.5.1 (це лише одна із кількох сотень форм).

## Групи сплаву

Існують чотири групи твердих сплавів :

**Вольфрамові сплави** – група ВК. Ці сплави застосовують для оброблення чавуну, пластмас, кольорових металів і сплавів. Вони



містять: карбід вольфраму WC + металевий кобальт Co. Наприклад сплав BK2 містить – 98% карбіду вольфраму WC та 2% кобальту Co.

**Титано-вольфрамові сплави** – група ТК. Ці сплави застосовують для оброблення сталі. Вони містять: карбід вольфраму WC + карбід титану TiC + металевий кобальт Co. Наприклад сплав T5K12 містить – 5% карбіду титану TiC + 83% карбіду вольфраму WC + 12% металевий кобальт Co.

**Титано-тантало-вольфрамові сплави** – група ТТК. Ці сплави застосовують для оброблення надміцної сталі. Вони містять: карбід титану TiC + карбід танталу TaC + карбід вольфраму WC + металевий кобальт Co. Наприклад сплав TT7K12 містить: 12% металевого кобальту + 7% карбіді титану TiC та танталу TaC (в сумі) + все інше 81% це карбід вольфраму WC.

**Безвольфрамові сплави** – це група сплавів які не містять карбід вольфраму. І через це значно дешевші за інші сплави.

Тверді сплави є найбільш перспективним інструментальним матеріалом майже для усіх видів інструментів.

### **Закордонна практика**

Провідні зарубіжні фірми використовують міжнародну систему маркування твердих сплавів, зв'язуючи її з рекомендаціями по обробленню конкретних матеріалів. Прийняті наступні позначення:

- P** – (синій колір) - для оброблення стали;
- M** – (жовтий колір) - для оброблення нержавіючої сталі;
- K** – (червоний колір) - для оброблення чавуну;
- N** – (зелений колір) - для оброблення алюмінію і кольорових металів;
- S** – (коричневий колір) - для оброблення надміцних сплавів;
- H** – (сірий колір) - для оброблення матеріалів високої твердості.

Особливістю закордонного машинобудування є сервісне обслуговування фірмою конкретних замовників по комплексному забезпеченню оптимальних умов оброблення різанням.

Практично це виглядає так:

- фірма виробник звертається до фірми постачальника інструменту з проханням підібрати інструмент для оброблення конкретної деталі;

- інструментальна фірма постачає повний набір інструменту плюс устаткування;
- далі всі роботи по обслуговуванню устаткування виконує інструментальна фірма;
- фірма виробник тільки забезпечує матеріал та робочу силу.

Табл. 5.9: Застосування твердого сплаву

Вид оброблення	Сталь кон- струкційна	Сталь легована	Чавун
Точіння			
Чорнове переривчасте	T5K10, BK8	T5K10	BK8
Чорнове безперервне	—	T14K8, T15K6	BK6
Напів чистове та чистове	—	T14K8, T15K6	BK6
Чистове тонке	—	T30K4	—
Чистове але переривчасте	—	T60K6	BK2, BK3
Фасонне	—	T5K10	—
Відрізка токарним різцем	T5KE10	T5K10	—
Фрезерування			
Чорнове переривчасте	T5K10, BK8	T5K10, BK8	BK8
Чорнове безперервне	—	T14K6, BK8	BK8
Чистове	—	T15K10	BK6
Свердлування			
Насвердлювання та розсвердлування	T5K10	T5K10, BK8	BK8
Розсвердлення отвору	—	T15K5	BK6
Свердлення литих деталей	T14K8	—	—

## Висновки

Загальні галузі застосування твердого сплаву наведено у табл.5.9. Основними характеристиками твердого сплаву як інструментального матеріалу є такі параметри.

**Твердість** твердого сплаву становить 88...92 одиниці за шкалою HRA.

**Температура** при якій твердий сплав сучасного складу здатний пра-

цювати досягає 750...1000°C.

**Швидкість** різання, залежно від марки сплаву, коливається у досить значних межах і становить 150...350 м/хв.

## 5.6 Мінералокераміка

Створення мінералокерамічних інструментальних матеріалів [3] обумовлене необхідністю скоротити або повністю виключити використання в інструментах дефіцитних металів, зберігши досягнутий рівень працездатності інструментів, оснащених твердим сплавам.

Свою назву ця група матеріалів отримала у зв'язку з тим, що початковою сировиною для них були глинозем і кремній. З метою підвищення міцності почали створювати композиційні матеріали з добавками карбідів вольфраму, титану, молібдену, нітридів титану, двоокису цирконію.

Такі матеріали називаються керметами (кераміка-метал). Останніми роками розповсюджується ще один вид кераміки - нітридно-кремнієвий. Разом з тим, ускладнення складу кераміки, утворення багатокомпонентних композицій робить всі ці назви умовними.

Промислове виробництво різальної оксидної кераміки з  $Al_2O_3$  почалося ще у 40-і роки минулого століття, а в 50-і роки минулого століття були створені сплав ЦМ332 ( $Al_2O_3$  і до 1 % оксиду інших металів):

- в нашій країні – керамічний матеріал "кермет" (2...10 % Мо або Сг, решта  $Al_2O_3$ )
- за кордоном – оксидно-карбідна кераміка (20...40 % простих або складних карбідів перехідних металів IV - VI груп Періодичної системи Д.И. Менделєєва - титану, молібдену, вольфраму та ін., решта  $Al_2O_3$ ) .

До середини 70-х років доля різальної кераміки в металообробці в цілому склала 2 % (у ФРН 6 %, в США 5 %), причому на неї припадає 4 % об'єми стружки, що знімається інструментальними матеріалами.

Початковим матеріалом для виробництва практично усіх марок різальної мінералокераміки є технічний глинозем  $Al_2O_3$  чистотою 98,5...99,5%.

Такий глинозем обпалюють при 1400...1600°C та розмелюють до зернистості 1...3 мкм. Розмолотий корунд піддають обробці кислотами, промивають водою і висушують. Після цього підготовлений

порошок формують, пресують, а потім спікають при температурі 1750...1900°C.

### Переваги та недоліки

Порівняно з твердим сплавом мінералокераміка має такі переваги та недоліки:

**Переваги** – висока твердість мінералокераміки, теплостійкість до 1200°C, хімічна інертність до металу, опір окисленню багато в чому перевершують ці ж параметри твердих сплавів.

**Недоліки** – мінералокераміка поступається твердим сплавам по теплопровідності, має нижчу межу міцності на вигин. Твердість мінералокераміки складає 90 HRA, допуск  $\sigma_b$  при вигині всього 295 МПа (твердий сплав має  $\sigma_b$  на вигін до 1700 МПа).

### Біла/чорна та інша

Мінералокераміку на основі  $Al_2O_3$  можна розділити на три групи:

- чисто оксидна ("біла") кераміка, основу якої складає  $Al_2O_3$  (до 99,7 %) з незначними добавками ;
- змішана кераміка,  $Al_2O_3$ , що є, з додаванням тугоплавких металів (Ti, Nb та ін.);
- оксидна ("чорна") кераміка -  $Al_2O_3$  з додаванням карбідів тугоплавких металів (TiC, WC, MoC) для підвищення її міцності та твердості.

Пластины з "білої" кераміки отримують холодним пресуванням з подальшим спіканням. Процес економічний, вартість таких пластин мінімальна. Основний недолік цих пластин відносно невелика міцність, але твердість достатня – 91...93 HRA. Наприклад ЦМ332 ( $\sigma_b + 1\% \text{ MgO}$ ).

"Біла" кераміка застосовується для чистової і напівчистової обробки не оброблених термічно сталей, сірих чавунів. Пластины з "змішаної" і "чорної" кераміки отримують гарячим пресуванням, процес більше трудомісткий. Вітчизняна кераміка - ВОК ( $\sigma_b$  60 %, TiC 40 % та ін.), К090 ( $\sigma_b$ ).

Мінералокерамічні матеріали виготовляються у вигляді пластин, що істотно полегшує умови їх експлуатації. Ці пластинки приєднуються до корпусів інструментів механічним шляхом, приклеюванням

або припаюванням. Розширення споживання різальних керамічних матеріалів пов'язане з дефіцитом вольфраму.

Забезпечуючи високу продуктивність при обробці різних матеріалів різанням, мінералокераміка через специфічність її фізичних і механічних властивостей не може виключити необхідність застосування традиційних твердих сплавів. Вона лише розширює діапазон використовуваних порошкових різальних матеріалів в тій області, де може грати роль проміжної ланки між твердими сплавами, алмазними і іншими надтвердими композиційними матеріалами. Різальна кераміка – цінне доповнення до твердих сплавів з хорошими перспективами подальшого збільшення її споживання.

## Висновки

Нині мінералокераміку застосовують для напівчистового і чистового безперервного обточування, а також розточування деталей з сірих, ковких, високоміцних, вибілених чавунів, загартованих і поліпшених сталей, деяких марок кольорових металів і сплавів, а також неметалічних матеріалів (графіту та ін.) при високих швидкостях різання (до 600...800 м/хв) без застосування мастильної охолоджувальної рідини.

**Істотним недоліком** мінералокераміки є її у край низький опір циклічній зміні температури. Внаслідок цього навіть при невеликому числі перерв в роботі на контактних поверхнях інструменту з'являються мікротріщини, які призводять до його руйнування навіть при невеликих зусиллях різання. Ця обставина обмежує практичне застосування мінералокерамічного інструменту.

**Теплостійкість** мінералокераміки значно вище за теплостійкість твердих сплавів і складає, за різними дослідями 1100...1500°C.

**Твердість** мінералокераміки дуже висока і дорівнює 91...95 одиниць за шкалою HRA.

**Переваги** кераміки – висока твердість, теплостійкість і зносостійкість, дешевизна.

**Недолік** мінералокераміки – знижена міцність та висока крихкість. Це значно обмежує застосування мінералокераміки.

Мінералокераміку застосовують у вигляді пластин, основу яких складає технічний глинозем  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . В якості добавок до кераміки використовують карбіди титану, вольфраму, молібдену. Такі матеріали

дістали назву - керметы.

## 5.7 Алмази

Алмазні інструменти застосовуються в металообробці для чистового оброблення кольорових металів і сплавів. Також використовують алмазні порошки для абразивних інструментів.

Алмаз - найтвердіший інструментальний матеріал (у 4-5 разів твердіше за твердий сплав), проте він крихкий і дуже-дуже дорогий. Натуральні (природні) алмази застосовуються для металооброблення вкрай рідко – дуже дорого. Найбільш поширені нині інструменти з синтетичного алмазу, отриманого з графіту в умовах високих температур (до 2000°C) і тиску (30...40 тисяч атмосфер).

Замість однокристалічних алмазів лезові інструменти оснащують полікристалічними алмазами – спечений дрібний алмазний порошок у вигляді блоку (циліндр діаметром 3...5 мм і завдовжки 5...8 мм).

## 5.8 Синтетичні матеріали

До цієї групи відносяться алмази, матеріали на основі нітриду бору і композиційні матеріали, що містять алмаз, нітрид бору, карбіди металів і тверді оксиди. Умовно прийнято, що їх мікротвердість, зміряна за допомогою діамантової піраміди (по Віккерсу) при кімнатній температурі, повинна перевищувати 35 ГПа.

### Кубічний нітрид бору

Кубічний нітрид бору (КНБ, кубоніт) - штучний інструментальний матеріал, що не має природного аналога, є хімічною сполукою бору (43,6%) і азоту (56,4%) з кубічною кристалічною решіткою майже з такою ж будовою і параметрами, як і алмаз, де кожен атом бору сполучений з чотирма атомами азоту. Використовують як матеріал для абразивного інструменту який заточує твердосплавний інструмент.

### Ельбор

Ельбор використовують у вигляді порошку для виготовлення абразивного інструменту і доводочних паст, а також у вигляді полікристалічних блоків (циліндр діаметром 3-5 мм і завдовжки 5-8 мм) для

оснащення лезового інструменту (різці, фрези та ін.). Високі фізико-механічні властивості дозволяють обробляти ельборовими різцями високоміцні сталі (з HRC 48 ... 64), металокераміку, склопластик.

## 5.9 Порівняння матеріалів

З розглянутих матеріалів найбільш поширені в металообробній промисловості швидкорізальні сталі, тверді сплави і мінералокераміка.

Питома вага інструментів виготовлених з різних матеріалів приблизно така:

- швидкорізальні сталі 66%;
- тверді сплави 32%;
- мінералокераміка 2%.

За об'ємом металу, що зрізується, співвідношення між ними виглядає так:

- тверді сплави 68%.
- швидкорізальні сталі 28%;
- мінералокераміка 4%.

**Інструментальні сталі** – тенденції їх розвитку та використання:

- перехід на вольфрамо-молібденові марки;
- підвищення вмісту вуглецю;
- вдосконалення теорії легування сталей
- поліпшення структури за рахунок порошкової металургії;

**Тверді сплави** – тенденції їх розвитку та використання:

- створення нових марок твердих сплавів за рахунок обробки композиції і поліпшення структури;
- розробка нових марок безвольфрамових твердих сплавів (справа тягнеться вже років 40);
- розробка марок твердих сплавів для переривчастого різання;
- вдосконалення методів зносостійкого покриття твердосплавних пластин.

Рациональний вибір інструментального матеріалу при конструюванні металорізального інструменту дозволяє підвищити ефективність оброблення і продуктивність праці.

У табл. 5.10 подано порівняння параметрів інструментальних матеріалів.

Табл. 5.10: Інструментальні матеріали

Матеріал	Темпера- тура, °C	Зносо- стійкість	Твердість	Швидкість різання, м/хв
Вуглецева сталь	200...250	слабка	HRC 56	3...5
Легована сталь	250...300	добра	HRC 65	10...15
Швидкорізаль- на сталь	до 650	висока	HRC 65	30...40
Твердий сплав	до 1000	висока	HRA 90	150...300
Кераміка	до 1200	висока	HRA 92	200...500
Алмаз	850	дуже висока		до 3000
Синтетичні матеріали	до 1500	дуже висока		до 5000

## 5.10 Питання до самоконтролю

1. Основні типи інструментальних матеріалів?
2. Основні параметри вуглецевих інструментальних сталей?
3. Основні параметри малолегованих сталей?
4. Склад твердого сплаву?
5. Галузь застосування металокераміки?
6. Максимальна робоча температура швидкорізальної сталі?
7. Допустимі швидкості різання для різних інструментальних матеріалів?
8. Твердість твердого сплаву?
9. Твердість інструментальних сталей різних марок?
10. Основні хімічні елементи що застосовують для добавки в інструментальні сталі.

## Література

- [1] Позняк Л. А. Инструментальные стали. Справочник / Л. А. Позняк. – М: Металлургия, 1977. – 168 с.



- [2] Геллер Ю. А. Инструментальные стали / Ю. А. Геллер. – М: Металлургия, 1983. – 280 с.
- [3] Кабалдин Ю. Г. Принципы конструирования композиционных и инструментальных материалов с повышенной работоспособностью. - Владивосток.: Изд. ин-та машиновед. и металлургии, 1990.-58 с.
- [4] Креймер Г. С. Прочность твердых сплавов. -М.: Металлургия, 1971.-248с.

Суть справи не в повноті знання,  
а в повноті розуміння.

*Демокріт*

## 6 Токарні різці

Різці - найбільш поширені однолезові інструменти, призначені для оброблення деталей з обертальним або поступальним головним рухом. Токарні різці застосовуються на токарних, револьверних, карусельних, розточувальних верстатах, автоматах і напівавтоматах [1, 2].

Найпростіші токарні різці, це цільні (рис.6.1), але у сучасному виробництві більше поширення здобули різці складеної конструкції (найпростіша конструкція на рис.6.2).

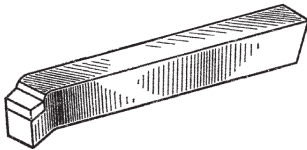


Рис. 6.1: Різець цільний

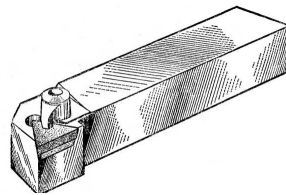


Рис. 6.2: Різець складений

Різець є одним з найпоширеніших металорізальних інструментів. Він широко застосовується для виконання різьблення, обробки площин, циліндричних і фасонних поверхонь, а також при стругальних і довбальних роботах.

Різець складається з робочої частини, званої головкою, і тіла - державки. Основними елементами робочої частини є головна різальна кромка, допоміжна різальна кромка і вершина – точка перетину двох кромки. Зрізання шару металу здійснюється головною кромкою, що мають прямий або фасонні форму. Утворюється в процесі роботи стружка сходять по передній поверхні різця.

Державка служить для закріплення інструменту в утримувачі верстата і зазвичай має квадратну або прямокутну форму поперечного перетину.

За направленням подачі різці підрозділяються на два типи: праві і ліві. Якщо при накладенні долоні правої руки зверху на інструмент головна різальна кромка знаходиться під великим пальцем, то різець називається правим. Якщо різальна кромка розташовується подібним чином при накладенні лівої руки, то й різець, відповідно, буде лівим.

Форма голівки та її положення щодо стрижня також можуть бути різними. За цими параметрами різці діляться на прямі, відігнуті, вигнуті і з відтягнути голівкою.

Прямі мають пряму вісь у плані і бічному вигляді. Вісь відігнуті в плані вигнута. У вигнутих вісь загнута в бічному вигляді. У різців з відтягнути голівкою ширина головки менше ширини тіла різця.

Різці застосовуються для токарних, стругальних і довбальних робіт і мають відповідні назви. Зараз ми більш детально торкнемося різців, що використовуються на токарних верстатах, і розповімо про їх різновидах.

Токарні різці підрозділяються на прохідні, підрізні, відрізні, розточувальні, фаскові і фасонні.

**Прохідні** токарські різці (рис.6.1,а та б) служать для оброблення деталей “на прохід” циліндричних поверхонь значної довжини. Зазвичай цей інструмент має подачу яка співпадає з напрямком осі обертання заготовки.

**Підрізні** токарські різці (рис.6.1,в) служать для підрізання уступів під прямим або гострим кутом до основного напрямку обточування. Зазвичай цей інструмент має поперечну подачу.

**Відрізні** різці (рис.6.1,г) призначені для відрізання матеріалу від прутків невеликого діаметру. Як правило, для цих цілей застосовуються інструмент з відтягнути голівкою. У зв'язку з тим, що робота ведеться з великим зусиллям, а відведення стружки із зони різання утруднений, нерідко відбуваються викришування або сколи ріжучої частини інструменту, а іноді і відрив платівки від державки.

**Розточувальні** різці (рис.6.1,е) необхідні для обробки отворів. Вони мають менші поперечні розміри, ніж обробляється отвір, і досить велику довжину. У силу своєї малої жорсткості, розточувальні різці не дозволяють знімати стружку великого перерізу.

Для обробки довгих отворів або отворів великого діаметру засто-

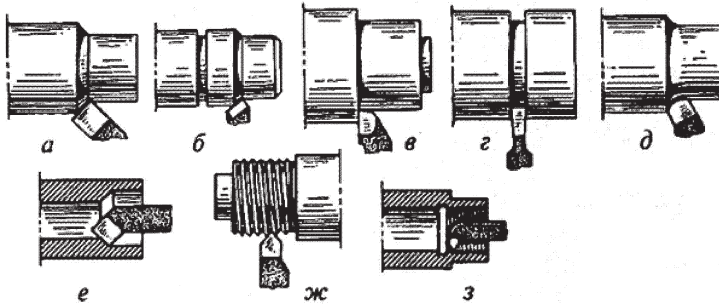


Рис. 6.3: Різновиди точіння

совуються вставні різці круглого або квадратного перетину, які використовуються разом з державка. Державки дозволяють виробляти розточку за допомогою як одностороннього, так і двостороннього різця.

**Фаскові** різці (рис.6.1,д) призначені для зняття зовнішніх і внутрішніх фасок.

**Фасонні** різці(рис.6.1,ж-з) використовуються для отримання деталі складної форми. Наприклад точіння різьбових поверхонь.

Залежно від виду верстата і виконуваної роботи використовуються різні різці, які класифікуються за наступними ознаками :

- по виду обробки (прохідні, підрізні, розточувальні, відрізні, фасонні)
- за характером оброблення (чорнові, чистові);
- по установці відносно деталі (радіальні, кутові, тангенціальні);
- по напрямку подачі (праві, ліві)
- по конструкції голівки (прямі, відігнуті, зігнуті, відтягнуті);
- по перерізу корпусу (прямокутні, квадратні, круглі);
- по конструкції (цілісні, складені, збірні);
- за матеріалом робочої частини (з інструментальної сталі, з твердого сплаву, з керамічних матеріалів, алмазні, з надтвердих синтетичних матеріалів).

Процес різання робиться при обертанні оброблюваної заготовки (головний рух, позначається символом  $V$ ) і переміщенні різця (рух подачі, позначається символом  $S$ ).

Обточенням виконують наступні основні операції:

- **обточування :**  
обробка зовнішніх циліндричних гладких, циліндричних ступінчастих, конічних (рис. 6.3,а,б), фасонних (рис. 6.3,д) поверхонь;
- **розточування :**  
обробка внутрішніх поверхонь (рис. 6.3,е);
- **підрізування :**  
обробка торцевих поверхонь (рис. 6.3,в);
- **резьбонарізання :**  
нарізування різьби різцем зовнішньої (рис. 6.3,ж) або внутрішньої (рис. 6.3,з).
  - у першому випадку різьбу нарізують з подовжньою подачею різця. Форма різальної кромки визначається профілем і розмірами поперечного перерізу нарізуваної різьби.
  - у другому випадку в заготовці спочатку свердлиться отвір певного діаметру;
- **відрізка :**  
розрізання заготовки на частини (рис. 6.3,г). Виконується відрізними різцями з поперечною подачею;

## 6.1 Конструкція та геометрія

Різець складається з робочої частини (яка зрізує матеріал заготовки) і державки (яка призначена для закріплення інструменту на верстаті).

Габаритні розміри різця визначаються довжиною державки, яка вибирається залежно від надійності закріплення, і її перерізом, який стандартизовано і може бути:

- квадратної форми ;
- прямокутної форми
- і круглою діаметром від 10 до 40 мм.

Найбільш поширеною є прямокутна форма перерізу державки різця. Квадратні різці застосовують на верстатах-автоматах. Різці з круглою державкою застосовують відносно рідко, у окремих випадках. Площа перерізу державки залежить від:

- зусилля різання  $P_z$  що діє на різець;

- величини відстані від вершини різця до опорної частини верстата (виліт інструменту);
- кута  $\varphi$  у плані.

Пояснимо чому переріз державки різця залежить саме від цих параметрів. Отже:

- **зусилля різання :**  
зрозуміло, що чим більші зусилля різання – тим більшою має бути площа державки.
- **виліт інструменту :**  
під дією зусиль різання різець трохи вигинається. Отже, чим більшим є виліт різці – тим більшою має бути площа поперечного перерізу. В протилежному випадку різець може просто зігнути.
- **кут у плані :**  
величина кута у плані впливає на напрям дії усіх складових зусилля різання. Це призводить до того, що чим більшим є кут у плані – тим більшою є складова що вигинає державку різця у бік. Щоб компенсувати боковий вигін треба збільшити площу перерізу державки.

Висота державки визначається за відповідним розміром верстата або може бути орієнтовно розрахована на міцність під дією сили  $P_z$ .

Співвідношення висоти  $H$  до ширини  $B$  різця залежить від виду оброблення і має такі значення

- чорнове оброблення  $H = 1.6 B$
- напів чистове  $H = 1.25 B$
- чистове  $H = B$

Державним стандартом рекомендовано такі співвідношення сторін державки токарного різця:

- прямокутні різці
  - $10 \times 16$ ;  $12 \times 20$ ;  $16 \times 20$ ;  $16 \times 25$ ;  $20 \times 25$ ;  $20 \times 32$ ;  $25 \times 32$ ;  $25 \times 46$ ;  $32 \times 46$ ;  $32 \times 58$ ;  $40 \times 50$ ;  $50 \times 63$ ;
- квадратні різці
  - $4 \times 4$ ;  $6 \times 6$ ;  $10 \times 10$ ;  $12 \times 12$ ;  $16 \times 16$ ;  $20 \times 20$ ;  $25 \times 25$ ;  $32 \times 32$ ;  $40 \times 40$ .

Загалом різці зі швидкорізальної сталі можуть бути цілісними або з привареною робочою частиною (головка або пластина). Але в

теперішній час час токарні різці цільної конструкції в галузевому машинобудуванні майже не застосовують. Зварні різці трапляються тільки у випадках коли різець має малі розміри і через це застосовувати зварювання буде складно.

Форма передньої поверхні різців і геометричні параметри призначаються залежно від властивостей оброблюваного матеріалу [3]. Існує три основні (і з десятків їх комбінацій) форми (табл.6.1) передньої поверхні токарного різця:

- проста :  
коли передня поверхня є площиною котра нахилена під кутом  $\gamma$  до опорної частини різця.
- з фаскою :  
коли вздовж кромки виконують невелику фаску під кутом  $\gamma_{\text{фас}}$  трохи меншим за прийнятий передній кут.
- з канавкою :  
коли на передній поверхні виконують канавку паралельно різальній кромці.

У промисловості найбільш поширені різці оснащені твердим сплавом, оскільки вони забезпечують збільшення швидкості і продуктивності обробки. Можуть бути:

- цільними;
- з припаяними стандартними пластинами
- або з механічним кріпленням пластин, в цьому випадку пластини зазвичай багатогранні.

Конструктивне оформлення передньої поверхні твердосплавних різців і їх геометричні параметри залежать від властивостей оброблюваного матеріалу. На відміну від сталевих різців передня поверхня різців (точніше змінних пластин твердого сплаву) значно складніша. На рис.6.4 наведено креслення змінної пластини що має форму чотирикутника.

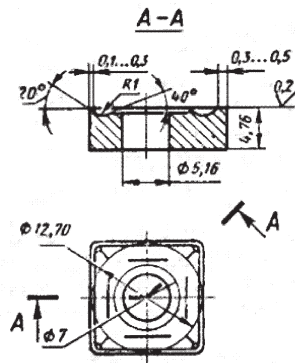
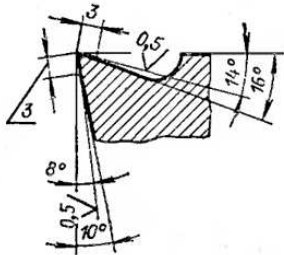
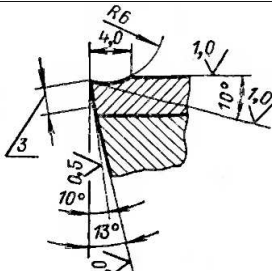
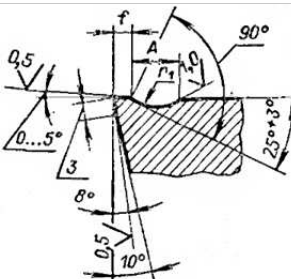


Рис. 6.4: Змінна пластина

Табл. 6.1: Форми заточування різців

Ескіз	Пояснення
	<p>Проста форма передньої поверхні. Застосовується при обробленні звичайних конструкційних матеріалів</p>
	<p>Передня поверхні із канавкою. Застосовується у випадку коли необхідно подрібнити стружку.</p>
	<p>Передня поверхня з фаскою та канавкою. Фаска на передній поверхні має від'ємний кут, що зміцнює кромку. Застосовують для оброблення твердих матеріалів.</p>



## 6.2 Подрібнення стружки

Із-за високої швидкості різання особливо при обробці твердо-сплавними різцями необхідно передбачити пристрої для для подрібнення стружки. Існують різні способи для подрібнення стружки.

**Спеціальна форма** передньої поверхні різця. Передня поверхня має регулярно розташовані виступи та западини. Зрізана стружка переміщується по ним і безперервно деформується потрапляючи почергово то на виступ то на западину. В результаті багатократного перегину вона сама подрібнюється.

**Накладний стружколом.** На передній поверхні встановлено накладний упор. Стружка сходить по поверхні, впирається в упор і ламається. Ця конструкція не дуже вдала, так як призводить до зайвої витрати енергії на подрібнення стружки і що саме гірше – не гарантує подрібнення. Навпаки, є імовірність пакетування стружки на різці з усіма наслідками

**Подача рідини** з високим тиском. Це відносно нове “pow-haw”. Охолоджувальну рідину під великим тиском подають в зону різання. Але не зверху на стружку (як звичайно), а навпаки під стружку в щілину між стружкою та передньою поверхнею. В результаті стружку “зриває” і видаляє із зони різання.

## 6.3 Геометричні параметри

Головними критеріями під час вибору геометричних параметрів різця є:

- стійкість інструменту (час утворення на його задній або передній поверхні допустимої величини майданчики зносу);
- розмірна стійкість інструменту (максимально допустима зміна його настроювальних розмірів);
- підтримка заданої шорсткості обробленої поверхні;
- зменшення амплітуди автоколивань у ході робочого процесу.

При виборі різця слід враховувати такі параметри, як його кути. Вони вимірюються в січних площинах і позначаються грецькими буквами.

До основних геометричних параметрів (кутів) відносяться:

- задній кут;
- передній кут;

Всі вони вимірюються в головній січній площини - перпендикулярної головною ріжучої кромки і основної площини.

### Задній кут

Головним заднім кутом (його прийнято позначати літерою  $\alpha$ ) називається кут між головною задньою поверхнею різця і площиною різання. Його призначення - зменшення тертя задньої поверхні різця про заготовлю.

Збільшення заднього кута викликає зменшення кута загострення, що тягне за собою зниження міцності леза і збільшення шорсткості оброблюваної поверхні.

Зменшення заднього кута, в свою чергу, підвищує тертя, що прискорює знос різця і знижує якість обробки.

При обробці твердих матеріалів величини задніх кутів знижуються, а при роботі з більш м'якими - збільшуються. Рекомендовані значення головного заднього кута залежать від матеріалу деталі

Матеріал	Алюміній, мідь	Латунь	Бронза	Сталь	Чавун
$\alpha^\circ$	10...15	8...12	8...12	10...14	8...10

### Передній кут

Передній кут (його прийнято позначати літерою  $\gamma$ ) – це кут між передньою поверхнею різця і площиною, проведеної через головну ріжучу кромку перпендикулярно до площини різання.

Призначення переднього кута - зменшити деформацію зрізаний шару і полегшити сходження стружки.

Збільшення кута полегшує процес різання і дозволяє знизити зусилля подачі різця, але міцність різального клина знижується. Відхилення величини переднього кута всього на 5 градусів від рекомендованих оптимальних значень може викликати зниження стійкості різців майже в три рази. Зменшення переднього кута підвищує стійкість різців.

Рекомендовані значення головного переднього кута залежать від матеріалу деталі

Матеріал	Алюміній, мідь	Латунь	Бронза	Сталь	Чавун
$\gamma^\circ$	25...30	20...25	12...25	14...18	12...25

## Допоміжний кут

Допоміжним заднім кутом називається кут між допоміжною задньою поверхнею і площиною, що проходить через допоміжну ріжучу кромку перпендикулярно до основної площини. Цей кут вимірюється на допоміжній січній площині, перпендикулярній до допоміжної ріжучої кромці і основної площини. Аналогічно головному задньому кутку він позначається як  $\alpha_1$ .

## Кут у плані

Кут між головною ріжучою крайкою і напрямом подачі називається головним кутом у плані і позначається літерою  $\phi$ . Його призначення - змінювати співвідношення між шириною і товщиною зрізу при постійних глибині різання і подачі.

При зменшенні кута підвищується міцність вершини різця, але чинність, додаток доводиться збільшувати. При цьому підвищується тертя про оброблювану поверхню і виникають вібрації.

Вибір величини головного кута в плані  $\phi$  залежить від умов обробки, конструкції різців та особливостей кріплення пластин. Значення кута  $\phi$  може бути 90, 75, 63, 60, 50, 45, 35, 30, 20, 10°, що дозволяє підібрати кут, найбільш відповідний конкретних умов.

Різці з малими кутами  $\phi$  від 10 до 20° застосовуються при обробці масивних деталей на важких верстатах.

Нежорсткі вироби обробляють під кутами  $\phi = 60...70^\circ$ , а кут  $\phi = 90^\circ$  застосовую за наявності на заготовці ступенів з торцями.

Допоміжним кутом у плані називається кут між допоміжною ріжучою крайкою і напрямом подачі (за аналогією позначається  $\phi_1$ ). Зменшення кута знижує шорсткість обробленої поверхні.

У загальному випадку для різців залежно від типу обробки застосовують такі кути  $\phi$  у плані

- для прохідних різців  $\phi = 45^\circ$ ;
- для прохідних різців які встановлені на верстатах-автоматах  $\phi = 60...70^\circ$ ;
- для підрізних різців що формують прямокутний ступень або торець деталі  $\phi = 90^\circ$ .

## Нахил кромки

Головна ріжуча кромка різця може мати різні кути нахилу з лінією, проведеної через вершину різця паралельно основній площині. Кут нахилу ріжучої кромки позначається літерою  $\lambda$ .

Зміна цього кута дозволяє управляти напрямком сходу стружки і умов контакту різця із заготівлею. Значення  $12...15^\circ$  слід застосовувати при чорновій обробці і переривистому різанні з ударами. При точінні загартованої сталі значення кута  $\lambda$  слід прийняти від  $25$  до  $35^\circ$ . При чистовому обробленні деталі використовуються різці, кут нахилу ріжучої кромки яких менше або дорівнює нулю.

## Загострення різців

Загострення токарних різців проводиться як при їх виготовленні, так і в процесі експлуатації після зносу. Процес загострення проходить на заточних верстатах з безперервним охолодженням. Спочатку заточується головна поверхню, потім задня та допоміжна. Після цього обробляють передню поверхню різця до отримання рівної різальної кромки.

## 6.4 Конструювання різців

Робоча частина токарного різця у більшості випадків це пластина твердого сплаву яка прикріплена до різцетримача (державки). Спосіб кріплення різальної пластини може бути достатньо різним:

- напаявання безпосередньо до корпусу різця;
- механічне кріплення різними конструкціями;
- за допомогою сил що виникають під час роботи інструменту;
- та інші.

Однак основним при конструюванні різців є розрахунок державки на міцність який виконують у такій послідовності.

1. Зусилля різання  $P_z$  у кілограмах.

$$P_z = 30ts^{0,75}HB^{0,35}, \text{ кГ}$$

де  $t$  – товщина матеріалу що зрізується, мм;

$s$  – подача мм/об;

HB – твердість матеріалу деталі за шкалою Брінеля.

2. Допустимі напруження  $\sigma_d$  у матеріалі державки. Їх величина залежить від кута  $\varphi$  у плані

$\varphi^\circ$	30	45	60	75	90
$\sigma_d, \text{кг/мм}^2$	24	20	16	13	11

3. Ширина  $B$  прямокутної державки

$$B = \sqrt{\frac{6P_z l}{2,56 \sigma_d}}, \text{ мм}$$

де  $l$  – виліт різця, то б то відстань від вершини різця до опорної частини різцетримача, мм;

4. Висота  $H$  прямокутної державки

$$H = 1,6B$$

5. Розміри  $H$  та  $B$  державки стандартизовані

$H$	6	8	10	12	16	20	25	32	40	50	63	80
$B$	4	5	6	8	10	12	16	20	25	30	40	50

## 6.5 Перспективи різців

Белике поширення різців з багатограними пластинами пов'язане з їх перевагами:

- міцність леза, неушкодженого напаяванням;
- довговічність корпусу (державки) різця;
- економія матеріалу державки і витрат на її виготовлення;
- відсутність витрат на переточування різців;
- наявність на пластині елементів примусового подрібнення стружки;

Для кріплення багатограних пластини до державки різця існують численні конструкції. Вдосконалення токарських різців іде за рахунок застосування пластин твердого сплаву нової конструкції та хімічного складу. На рис.6.5 наведено токарні різці. Де :

$l$  – місце під пластину:

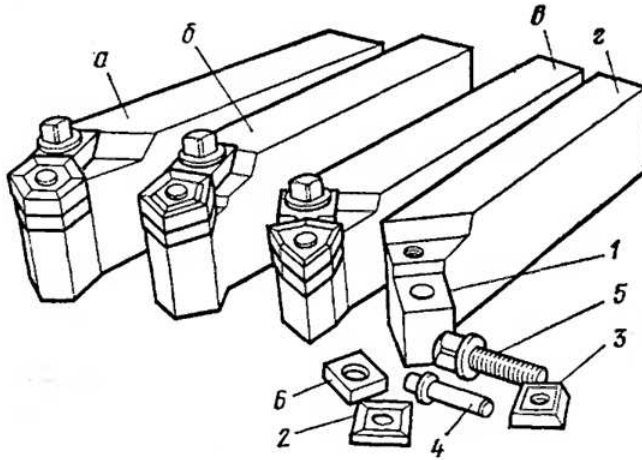


Рис. 6.5: Складені токарські різці

- 2 та 3 – різні змінні пластини;
- 4 – штифт на якому закріплено пластину;
- 5 – гвинт що кріпить пластину;
- 6 – підкладка під пластину.

## 6.6 Питання для самоконтролю

1. На верстатах якого типу застосовують токарні різці?
2. Що таке різальна та робоча частини токарного різця?
3. Вкажіть основні перспективи розвитку токарного інструменту.
4. Методи подрібнення стружки в сучасному виробництві?
5. Охарактеризуйте різні форми передньої поверхні інструменту.
6. З якою метою на передній поверхні токарного різця роблять канавку?
7. Опишіть форму передньої поверхні багатогранної пластини.
8. Наведіть основну класифікацію токарних різців.
9. Вкажіть розташування основної поверхні для токарного різця.
10. Основні елементи складеного складеного різця?

## Література

- [1] Молодкин В.П. Справочник молодого токаря. М.; “Московский рабочий”, 1978. 1160 с.
- [2] Оглоблин А.Н. Справочник токаря. М.; Машиностроение, 1960, 510 с.
- [3] Ящерицьш П.И., Жигалко Б.И. Основы проектирования режущих инструментов с применением ЗВМ. - Минск: Высш. шк., 1979. - 304 с.

Кругле нецтво – не найбільше  
зло: накопичення погано  
засвоєних знань ще гірше.

*Платон*

## 7 Фасонні різці

### 7.1 Призначення і класифікація

Фасонний різець - це спеціальний інструмент, форма різальних кромок якого визначається формою профілю деталі [1]. Вони застосовуються різці для обробки фасонних деталей типу тіл обертання на токарних верстатах

Перед звичайними різцями фасонні мають такі переваги :

- висока продуктивність оброблення;
- тривалість експлуатації (велика кількість переточувань);
- не вимагають високої кваліфікації робітника для оброблення фасонних поверхонь.

Фасонні різці широко використовуються у великосерійному і масовому виробництвах. Фасонні різці можна класифікувати таким чином:

- радіальні:
  - круглі та призматичні;
    - \* звичайні;
    - \* з нахилоною віссю;
    - \* з подвійним нахилом передньої поверхні<sup>4</sup>.
- тангенціальні:
  - тільки призматичні.

Окрім цих основних конструкцій, ще існують фасонні різці з циліндричною гвинтовою поверхнею, з конічною гвинтовою, торцеві та інші. Але в машинобудування найпоширенішими є саме такі що були перелічені (рис.7.1).

**Круглі звичайні** фасонні різці. Ці різці застосовують для оброблення “звичайних” фасонних поверхонь обертання. Форма оброблюваної деталі має не дуже складний профіль. Як привали,

---

<sup>4</sup>Іншою назвою цих різців є – різці з базовою ділянкою.



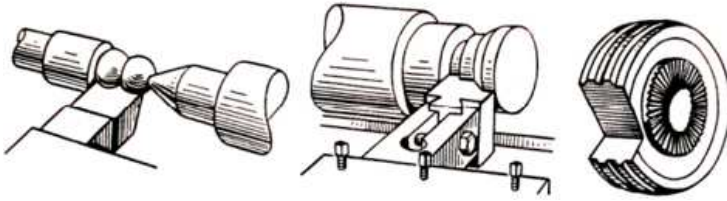


Рис. 7.1: Фасонні токарні різці

це комбінація канавок та конусних поверхонь які мають незначний перепад діаметрів 3...7 мм. Вісі деталі та різця паралельні між собою.

**Круглі з нахилою віссю.** Ці різці застосовують при обробленні деталей що мають уступи або значний перепад діаметрів 7...15 мм. Основна і єдина перевага цих різців перед звичайними – вони забезпечують додатні задні кути на всіх ділянках кромки різця. Назва різців обумовлена тим що вісь різця розташована під кутом до осі деталі (нахилена).

**Різці з подвійним нахилом** передньої поверхні призначені виключно для оброблення деталей які мають конічну поверхню. Недоліком всіх вище згаданих різців є те що вони не можуть утворити точну конічну поверхню<sup>5</sup>. На відміну від них, різці з подвійним нахилом передньої поверхні можуть утворити точну конічну поверхню.

**Тангенціальні** фасонні різці призначені для оброблення фасонних деталей значної довжини, із співвідношенням діаметр/довжина до значення 1/12. Усі інші фасонні різці можуть обробити деталі що має довжину трохи більшу ніж її діаметр.

## 7.2 Геометрія фасонних різців

### 7.2.1 Радіальні різці

Передній кут фасонного різця вибирається залежно від оброблюваного матеріалу в межах від 8...25°. Чим менше твердість оброблюваного матеріалу, тим більший передній кут.

<sup>5</sup>Можуть. Але для цього потрібна досить складна технологія їх виготовлення, що не економічно.

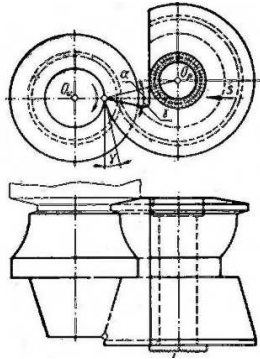


Рис. 7.2: Круглий фасонний різець

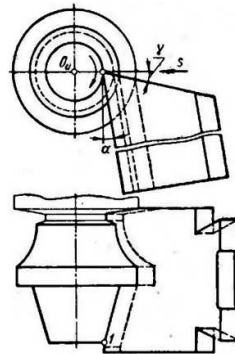


Рис. 7.3: Призматичний фасонний різець

Передній кут круглого фасонного різця можна отримати за рахунок відповідного формування передньої поверхні у процесі його заточування.

Задній кут залежить від форми фасонного різця і його типу. Збільшення заднього кута може привести до послаблення різальної кромки, що найнебезпечніше для круглого різця. Тому задній кут для круглих різців вибирається в межах  $10...15^\circ$ , а для призматичних –  $12...17^\circ$ .

Геометрія радіальних різців має деякі особливості що значно відрізняють їх від звичайних токарних різців.

Особливістю круглих (рис.7.2) фасонних різців є те, що задній кут в процесі різання утворюється за рахунок спеціальної установки на верстаті. Різець (його вісь, адже він круглий) встановлена вище осі деталі на відповідну величину.

Особливістю призматичного (рис.7.3) різця є те що як передній так і задні кути отримують за рахунок нахилу різця на верстаті, на величину заднього кута. То б то призматичний різець сам по собі ніякого заднього кута не має. Цей кут утворюється тільки за рахунок повороту різця.

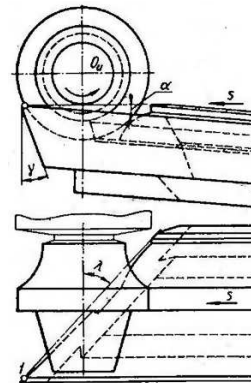


Рис. 7.4: Тангенціальний різець

Вказані значення переднього і заднього кутів відносяться тільки до, так званої, базової точки. Базова точка, це точка профілю деталі для якої призначають геометричні параметри. У всіх інших точках кромки різця геометричні параметри будуть іншими<sup>6</sup>.

### 7.2.2 Тангенціальні різці

У тангенціальних різців (рис.7.4) все навпаки ніж у всіх інших:

- деталь обертається в протилежному напрямку ніж зазвичай;
- передні кути розташовані знизу різця;
- задні кути розташовані зверху різця;
- у процесі роботи різці його геометричні параметри (кути різання) змінюються у межах  $\pm 20...30^\circ$ .

Передній кут тангенціального різця приймають найбільшим із рекомендованих.

У процесі роботи різця (врізання в деталь) – передній кут буде значно збільшуватись і в кінці процесу оброблення деталі прийме найбільше зайчення (градусів на 20...30 більше).

Задній кут для тангенціального різця приймають найменшим із можливих, зазвичай  $2,5...3^\circ$ . У початковий момент врізання різця в деталь він буде на  $20...30^\circ$  більше ніж прийнятий.

## 7.3 Конструктивні елементи

Різні типи фасонних різців мають різні основні параметри що викликано різними умовами роботи та різними значеннями кутових величин.

**Призматичні** різці (радіальні та тангенціальні) мають такі основні параметри:

- ширина різця;
- товщина різці;
- висота різця;
- вузол кріплення – зазвичай це “ластівковий” хвіст

**Круглі** фасонні різці мають такі основні параметри:

- діаметр різця;

<sup>6</sup>Як правило, ця різниця не перевищує кількох градусів. Вона тим більша, чим більша глибина профілю деталі.

- товщина різця;
- діаметр отвору під оправку;
- вузол кріплення – це кругла оправка на якій закріплено різець.

Усі конструктивні елементи фасонних різців, за винятком елементів профілю, вибирають конструктивно з довідкових матеріалів залежно від максимальної висоти фасонного профілю деталі [1, 2].

## 7.4 Проектування фасонних різців

### Круглі фасонні різці

1. Найбільший (зовнішній) діаметр  $D$  круглого фасонного різця визначають як

$$D = 1,5d_1 + 2T + (3...6) \text{ мм}$$

де  $d_1$  – діаметр круглої оправки на яку встановлено круглий різець, мм;

$T$  – найбільша глибина профілю деталі, мм.

Треба враховувати, що при обробленні фасонних отворів діаметр  $D$  різця не повинна перевищувати 0,75 від діаметру отвору деталі.

2. Найбільша ширина  $B$  круглого фасонного різця залежить від діаметру  $d_{\text{дет}}$  деталі і не може перевищувати допустимих значень

$d_{\text{дет}}, \text{ мм}$	3...4,5	4,5...7	7...10	10...15	15...22	22...32
$B, \text{ мм}$	3,5	6,0	10,0	18,0	32,0	55,0

3. Задній кут  $\alpha$  приймають у межах 10...12°.

4. Передній кут  $\gamma$  залежить від матеріалу деталі

Деталь	Алюміній	Сталь м"яка	Сталь тверда	Чавун
$\gamma^\circ$	25...30	20	15	5...10

5. Перевірка заднього кута  $\alpha_x$  у довільній точці різальної кромки різця

$$\text{tg } \alpha_x = \frac{R}{r_x} \text{tg } \alpha \sin \varphi_x$$

де  $R$  – найбільший (зовнішній) радіус фасонного різця, мм;  
 $r_x$  – радіус досліджуваної точки різальної кромки, мм;  
 $\varphi_x$  – кут між напрямком дотичної до різальної кромки та віссю круглого фасонного різця.

Задній кут  $\alpha_x$  визначений за наведеною формулою не повинен бути меншим за  $3^\circ$ . У протилежному випадку, різець буде непрацездатний.

### Призматичний різець

1. Допустима ширина  $B$  фасонного профілю призматичного різця залежить від діаметру  $d_{\text{дет}}$  деталі

$d_{\text{дет}}, \text{ мм}$	3...4,5	4,5...7	7...10	10...15	15...22	22...32
$B, \text{ мм}$	3,5	6,0	10,0	18,0	32,0	55,0

2. Товщина  $A$  різця може бути визначена за формулою

$$A = T + c + a$$

де  $T$  – найбільша глибина профілю деталі, мм;  
 $c$  – товщина тіла різця, яка може становити від 0,25 до 0,5 від ширини  $B$  різця, мм;  
 $a$  – висота ластівчаного хвостовика, що служить для закріплення різця на верстаті.

Висота  $a$  ластівчаного хвостовика залежить від ширини  $B$  різця

$B, \text{ мм}$	10...14	14...20	20...28	28...40	40...56
$a, \text{ мм}$	2	3	4	6	8

## 7.5 Питання для самоконтролю

1. Перелічить типи фасонних різців
2. Типи радіальних фасонних різців?
3. Типи призматичних фасонних різців?
4. Форма задньої поверхні круглого радіального фасонного різця?
5. Форма передньої поверхні фасонних токарних різців?

6. Чим відрізняються радіальні різці від тангенціальних?
7. Конструктивні елементи призматичного різця?
8. Конструктивні елементи круглого різця?
9. Конструктивні елементи тангенціального різця?
10. Методи профілювання фасонних інструментів?

## Література

- [1] Грановский И. И. Фасонные резцы / И. И. Грановский, К. П. Панченко. – М: Машиностроение, 1975. – 309 с.
- [2] Справочник инструментальщика конструктора / [В. И. Климов, А. С. Лернер, М. Д. Пекарский и др.]. – Москва: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1958. – 608 с.

Найгірше те, що хто змолоду  
погано навчений, той до старості  
в цьому не зізнається.

*Петроній*

## 8 Оброблення отворів

В сучасному машинобудуванні для оброблення отворів використовуються різні види інструментів [1, 2, 3] :

- свердла;
- зенкери;
- розвертки (ручні та машинні);
- розточувальні головки (на розточувальних верстатах);
- борштанги;

Найбільш поширеними є:

- свердла;
- зенкери;
- і розвертки.

**Свердла** (рис.8.1) – осьовий різальний інструмент для утворення отвору в суцільному матеріалі та/або збільшення діаметру наявного отвору. Використовують для отримання як наскрізних, так і глухих отворів. В процесі роботи свердло здійснює два рухи: обертальний (головний рух) і поступальний (рух подачі). Для отримання отворів в суцільному матеріалі найбільше поширення мають спіральні свердла.

**Зенкери** (рис.8.2) – застосовують для подальшої обробки отворів після свердління з метою отримання вищої точності і чистоти або наданні отвору спеціальної форми (конічної, ступеневої)

**Розвертки** (рис.8.3) – застосовують для фінішного оброблення отворів у тих випадках коли внутрішнє шліфування є не технологічним і встановити деталь на верстат складно (наприклад корпусна деталь)

Треба мати на увазі, що на поданих рисунках зображена тільки основні (стандартизовані) типи кожного інструменту. Історія виникнення кожного з цих інструментів досить цікава.Свердло, яке є найбільш поширеним у сучасному машинобудуванні і яке назива-

ють стандартним спіральним свердлом, було винайдено в Америці. Застосовували його при виготовленні зброї.

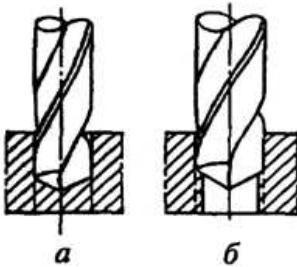


Рис. 8.1: Свердління.

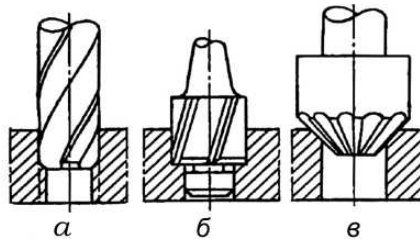


Рис. 8.2: Типи зенкерів

Розвертку винайшли десь у середні віки. Її застосовували для розвертування рушничних столів. Одночасно розвертка з'явилась при виготовленні годинників – з її допомогою підганяло розмір отворів під розмір камінців, котрими рясно оздоблювали годинник. Називали її – калі-звар (не плутати з узваром).

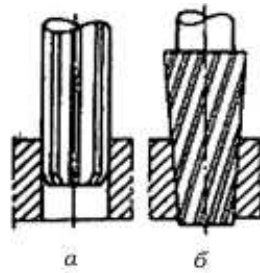


Рис. 8.3: Розвертки

## 8.1 Свердло

Основним інструментом для створення отворів є свердло. Отвір у теперішні часи можна зробити струменем рідини, що витікає з мініатюрного сопла з великою швидкістю, або променем лазера.

Цікавий метод “свердлування” зовсім нещодавно знайшли на островах Меланезії, де первісні племена спочатку нагрівали камінь, а потім в одно і теж саме місце час від часу опускали краплі холодної води, викликаючи тим самим мікроскопічні сколи, які в результаті багатократного повторення призводили до утворення поглиблення і навіть отвору.

Ще в палеоліті і, особливо, в неоліті зародилася і розвинулася техніка свердління за допомогою дерев'яних або кам'яних свердел. Спочатку отвори ними просто вискоблювали. Потім додумалися кам'яне свердло прив'язати до держака і тоді його можна було обертати двома руками, затиснувши держак між долонями.



Потім з'явилася ідея обмотати тятиву лука навколо держака і рухати лук від себе і до себе, а іншою рукою притримувати держак згори і притискати його до оброблюваної деталі, тобто створювати осьове зусилля (рис.8.4). Таке лучкове свердління виявилось майже в 20 разів більш продуктивне ніж ручне.

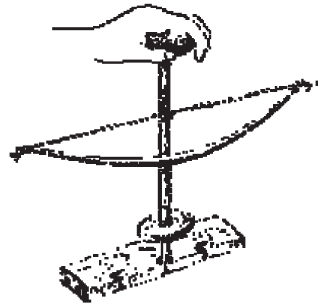


Рис. 8.4: Свердло лучкове

Свердління за допомогою дерев'яних стержнів або трубчастих кісток відбувалось з обов'язковим підсипанням абразивного піску, наприклад кварцового. Це стало великим кроком вперед, оскільки при цьому досягалася економія сил і підвищувалася продуктивність праці.

Ще більшим проривом у розвитку свердління було створення свердлувального "верстату" (рис.8.5).

При застосуванні трубчастих кісток 70% матеріалу в зоні отвору не руйнувалася, а залишалася у вигляді кам'яних стовпчиків. Слід зауважити, що ефективність такого процесу свердління з абразивними частинками і мастилом водою була дуже висока і з успіхом застосовувалася з часів неоліту і у бронзовому столітті, особливо при обробці кам'яних знарядь.

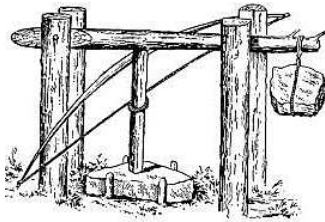


Рис. 8.5: Свердлувальний "верстат"

Технологія отримання свердел була простою. Гвинтові канавки на буравах вибивалися за допомогою молотка і зубила із закругленим лезом. На залізну основу "наварювали" сталеве вістря, яку потім піддавалося загартуванню і заточуванню. Іноді наконечники перовидних свердел робили багат шаровими таким чином, щоб на вістря виходила сталева пластинка дуже високої твердості.

Металграфічний аналіз показує, що сталеве вістря мало підвищений вміст вуглецю. Застосовувалася і цементация. Тоді вміст вуглецю в сталі досягав 1,2%. Для цього інструмент покривали салом, обмотували смужками з цапиної шкіри (звичайний козел), потім обмазували глиною і поміщали в ковальський горн і тримали в горні

до згорання шкіри.

У XVI ст. з'явився свердлувальний верстат з водяним приводом. У 1713 р. швейцарець Жан Мориц старший створив вертикальний свердлувальний верстат, а дещо пізніше Мориц молодший вдосконалив горизонтальний.

Тільки на качану XIX ст., в 1822 р. з'явилося усім відоме свердло з гвинтовими канавками. Звичайне спіральне свердло полягає з двох зубів, що згорнутих по спіралі і утворюють так звану робочу частину. Незважаючи на те, що робоча частина свердла дуже протяжна, проте, основну роботу різання здійснює тільки невелика ділянка. Її називають різальною частиною свердла. Це і є розташовані під кутом один до одного головні різальні кромки. Як і належить, вони утворюються при перетині передніх і задніх поверхонь зубів (клинів).

Гвинтове свердло стали застосовувати в металообробці не відразу, а після подолання значних технічних труднощів, пов'язаних із складністю виготовлення. Та конструкція, яку ми називаємо стандартним спіральним свердлом була винайдена в Америці десь на межі IXX та XX ст. і тому довгий час спіральне свердло називали "американським".

У сучасній промисловості операції утворення отворів складають 30% від всіх операцій оброблення деталі.

### 8.1.1 Конструктивні елементи свердла

Свердло складається з робочої частини (включаючи різальну частину), шийки, хвостовика і лапки. Спіральне свердло стандартної конструкції складається з наступних елементів (рис.8.6).

**Дві передні поверхні,** що є гвинтовими поверхнями постійного кроку. Можна стверджувати, що вони утворені гвинтовим рухом різальних кромок вздовж осі свердла. По цих поверхнях сходять стружка піз час роботи свердла.

**Дві задні поверхні.** Їх форма залежить від способу заточування свердла. Вона може мати форму гвинтової поверхні або площини. В окремих випадках задня поверхня свердла є кінчною або фасонною.

**Дві головні різальні кромки,** утворені перетином передніх поверхонь (гвинтова поверхня канавок, по яких сходять стружка) і задніх поверхонь (поверхні, звернені до поверхні різання).

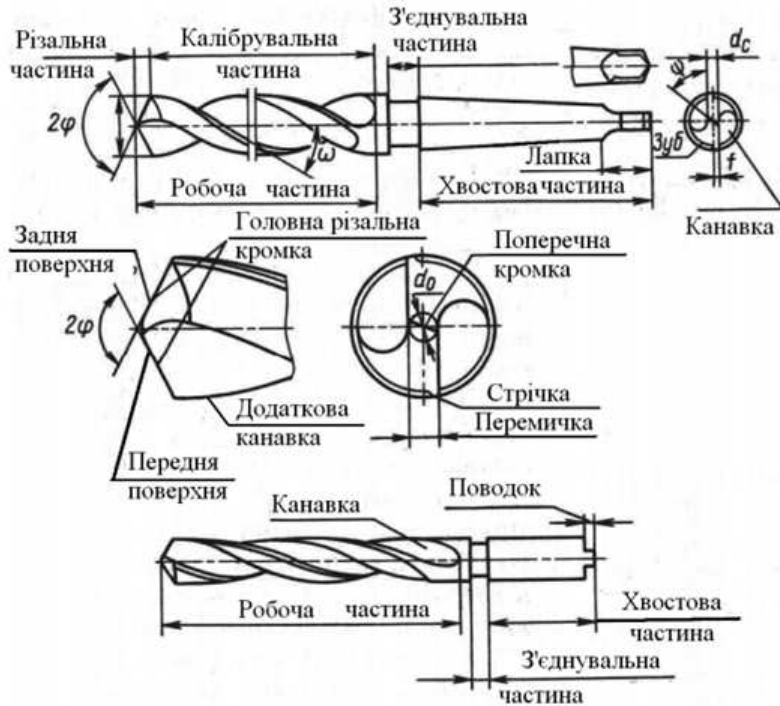


Рис. 8.6: Стандартне спіральне свердло

**Поперечна різальна кромка** утворена перетином двох задніх поверхонь. Її форма визначається формою задніх поверхонь, які у свою чергу залежать від способу заточування свердла. У загальному випадку поперечна кромка свердла має форму прямої або опуклої лінії.

**Стрічка свердла** – порівняно вузька ділянка на його циліндричній (боковій) поверхні, розташована уздовж його гвинтової канавки і примикає до передньої поверхні. Вона забезпечує центрування свердла в оброблюваному отворі при різанні.

**Спинка зубця.** Це поверхня розташована безпосередньо за стрічкою на боковій циліндричній поверхні свердла. Вона має заниження відносно зовнішнього діаметру свердла, яке зроблено для того щоб у процесі роботи свердло не контактувало з вже обробленим отвором (щоб воно не затирило по бокових поверхнях).

Різальна частина спірального свердла складається з двох зубів, які в процесі свердління своїми різальними кромками вриваються в матеріал заготівлі і зрізують його у вигляді стружки. Це основна частина свердла. Умови роботи свердла визначаються головним чином конструкцією різальної частини свердла.

Напрямна частина свердла потрібна для створення напрямку при роботі інструменту. Тому вона має дві направляючі гвинтові стрічки, які при свердлінні стикаються із стенками обробленого отвору. Частина напрямної має допоміжні різальні кромки – кромки стрічки, які беруть участь в оформленні (калібруванні) поверхні обробленого отвору. Окрім цього напрямна частина свердла служить запасом для переточувань інструменту. Вона забезпечує також видалення стружки із зони різання.

На рис.8.7 наведено семи роботи свердла. Стандартне спіральне свердло застосовують у двох випадках: для утворення отвору в цільному матеріалі, та для збільшенні отвору який вже існує.

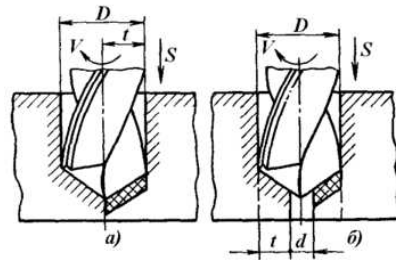


Рис. 8.7: Свердлування та розсвердлування

Хвостовик служить для закріплення свердла на верстаті. Він за допомогою циліндричної шийки з'єднується з робочою частиною свердла. Найчастіше робоча частина свердла виготовляється зі швидкорізальної сталі, а хвостовик із сталі 45 або 40Х. Робоча частина і хвостовик з'єднуються зварюванням. У промисловості використовуються також твердосплавні свердла. Різальна частина цих свердел оснащується пластинками твердого сплаву або твердосплавними коронками. У твердосплавних свердел малого діаметру повністю уся робоча частина може виготовлятися з твердого сплаву.

### 8.1.2 Геометрія свердла

Основні геометричні параметри (кути) стандартного свердла представлено на рис.8.8 до яких відносяться:

- $\gamma$  – передній кут на головній різальній кромці;
- $\alpha$  – задній кут на головній різальній кромці;
- $\psi$  – кут нахилу поперечної кромки.

Робоча частина спірального свердла має складну форму, внаслідок чого кутові параметри є змінними уздовж різальних кромок інструменту. Треба враховувати, що для свердла кути можливо вимірювати у двох площинах:

- у площині, яка перпендикулярна до різальної кромки<sup>7</sup>, зазвичай їх позначення має індекс  $N$ , наприклад  $\alpha_N$  або  $\gamma_N$  ;
- у площині, яка паралельно осі інструменту.

На рис.8.9 представлено приклад вимірювання кутів у трьох точках різальної кромки у різних площинах. Площини (перерізи)  $A-A$  паралельні осі інструмента, а площини  $B-B$  перпендикулярні до різальної кромки. Зверніть увагу, величина кутів у точках 1,2 та 3 має різне значення.

Кут нахилу гвинтової канавки  $\omega$  – це кут між віссю свердла і дотичною до гвинтової лінії, розташованої на зовнішньому діаметрі свердла. В середньому цей кут дорівнює  $30^\circ$  для стандартних свердел. Кут  $\omega$  вимірюють тільки на зовнішньому діаметрі свердла.

Взагалі кут  $\omega$  нахилу гвинтової канавки залежить від діаметру, на якому виконують вимірювання. Для кожної точки кромки свердла кут  $\omega$  різний. Детальний розподіл геометричних параметрів свердла у статичній системі координат наведено у ДСТУ 2294-93.

<sup>7</sup>На рис.8.8 зображені саме ці параметри хоч вони і не мають індексу $N$

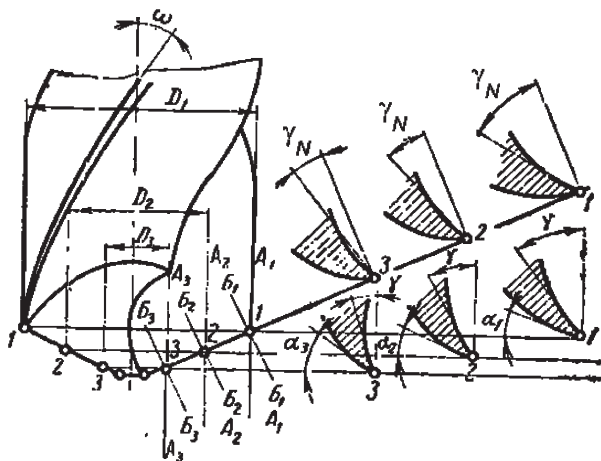


Рис. 8.9: Кути вздовж кромки

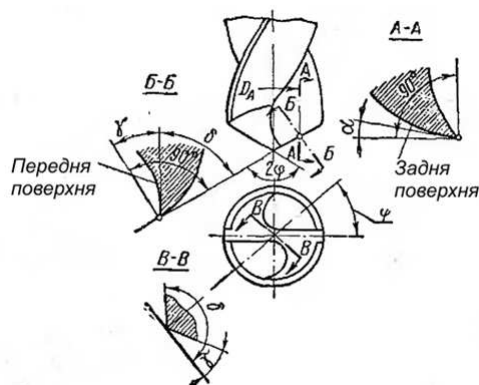


Рис. 8.8: Геометричні параметри свердла

Кут при вершині свердла  $2\varphi$ . У свердла задають не головний кут в плані, а подвійний  $2\varphi$ , який утворений головними різальними кромками свердла. У стандартного свердла кут  $2\varphi$  для свердління сталей середньої твердості рівний  $118^\circ$ .

Кут нахилу поперечної кромки  $\psi$  визначає нахил поперечної кром-

ки відносно головної різальної кромки. Його вимірюють в площині перпендикулярній осі свердла. Для стандартного свердла діаметром до 15 мм кут  $\psi$  дорівнює  $50^\circ$ . Для свердел діаметром 15...80 мм кут нахилу поперечної кромки  $\psi$  становить  $55^\circ$ .

У стандартного свердла передній кут  $\gamma$  має змінну величину уздовж різальної кромки, що добре видно на рис.8.9. Тому, якщо немає спеціальних вказівок, його вимірюють в площині дотичній до зовнішнього діаметру свердла. Це саме та величина, яку вказують в технічній документації. В цьому випадку передній кут  $\gamma$  еквівалентний куту нахилу гвинтової канавки  $\omega$ .

Для стандартного свердла без спеціальних підгострювань різальної частини величина кута  $\omega$  змінна вздовж різальної кромки. Отже, і величина переднього кута  $\gamma$  – теж буде змінною уздовж кромки. У міру наближення до серцевини свердла передній кут  $\gamma$  зменшуватиметься. Вимірювання переднього кута  $\gamma_N$  в площині перпендикулярній до різальної кромки ускладнено тим, що передня поверхня не плоска, а гвинтова, що потребує спеціального обладнання.

Передній кут  $\gamma$  для різних точок кромки можна розрахувати за формулою:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{H}{2\pi r}$$

де  $H$  – осьовий крок гвинтової канавки свердла;

$r$  – радіус, на якому розташована контрольована точка.

Задній кут  $\alpha$  вимірюють в площині перпендикулярній до різальної кромки (його позначають як  $\alpha_N$ ). Величина заднього кута залежить від способу заточування свердла і, в загальному випадку, змінюється уздовж кромки<sup>8</sup>. Тому його вимірювання виконують мінімум в трьох точках, рівномірно розташованих уздовж кромки, а в технічній документації вказують значення для зовнішньої точки кромки.

Виміряні таким чином кути є інструментальними кутами, оскільки не враховують рухи інструменту в процесі свердління. В результаті обертального і поступального (подачі) рухів свердла траєкторія різання для кожної точки різальної кромки представляє окрему гвинтову лінію, а усієї кромки – гвинтову поверхню з кроком  $H$  рівним подачі свердла.

Геометричні параметри стандартного (ринкового, для невідомого користувача) спірального свердла такі:

<sup>8</sup>Цих способів, тільки основних – п'ять. А варіантів ... ще більше ...

- кут при вершині  $2\varphi$ , залежний від міцності оброблюваного матеріалу (для чавуну і сталі  $2\varphi = 118^\circ$ );
- кут нахилу гвинтової стружкової канавки<sup>9</sup>  $\omega$  для стандартних свердел  $30^\circ$ ;
- передній кут по довжині головної різальної кромки змінний:
  - максимальний – на периферії (дорівнює куту  $\omega = 30^\circ$ );
  - мінімальний – біля осі (близький до нуля);
- задній кут на різальній кромці теж змінний<sup>10</sup>:
  - на периферії свердла приблизно  $8^\circ$ ;
  - ближче до осі свердла приблизно  $25^\circ$ .
- кут нахилу поперечної кромки  $\psi = 50...55^\circ$ .

При роботі свердла виникають похибки оброблення: можлива поява овальності отвору, конусності, викривлення осі. Величина їх залежить від розмірів отвору (діаметр і довжина), від властивостей оброблюваного матеріалу і режимів оброблення. Точність свердління знаходиться в межах 12...14 квалітету. Зазвичай спіральні свердла виготовляються зі швидкорізальної сталі Р6М5.

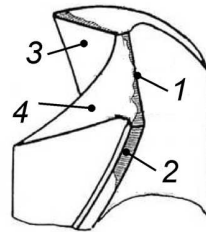


Рис. 8.10: Знос свердла

Разом зі швидкорізальними використовуються твердосплавні свердла, оснащені пластинами твердого сплаву або цілісні. Використовуються вони в основному для свердління чавуну або неметалічних матеріалів (бетон, граніт, пластмаси та ін.).

Під час роботи свердло зношується по двом основним елементам (рис.8.10):

- по головній різальній кромці 1;
- та по боковій стрічці 2.

На рисунку позначено: 3 – передні поверхня свердла; 4 – задня поверхня свердла.

<sup>9</sup>Для діаметрів свердла у межах 10...80 мм.

<sup>10</sup>Ще раз – задній кут залежить від способу заточування свердла.



## Покращення свердла

З метою полегшення процесу стружкоутворення і підвищення властивостей свердла, що ріжуть, роблять подвійне заточення свердла і підточування перемички і стрічки. Їх форми наведені у табл.8.1

При подвійному заточенні свердла друге заточення виробляється під кутом  $2\varphi=70^\circ$ , на ширині  $B = 2.5...15$  по задній поверхні. Таке заточення підвищує стійкість свердла, а при одній і тій же стійкості дозволяє збільшити і швидкість різання.

Підточування перемички (серцевини) виробляються на довжині 3...15 мм. Від такого підточування зменшуються довжина поперечної кромки і величина кута різання в точках кромки, що ріжуть, розташованих поблизу перемички свердла.

Для зменшення тертя стрічок об оброблену поверхню (об стінки отвору) виробляється підточування стрічечок під, кутом 6...8° на довжині 1,5...4 мм (форма ДПЛ), що приводить до підвищення стійкості свердла.

Звичайна (нормальна) заточення вживається і на свердлах діаметром більш 12 мм у тих випадках, коли те саме свердел застосовується для різних оброблюваних матеріалів при роботі з кірки і зі знятою кіркою, що часто має місце в умовах дрібносерійного виробництва.

### 8.1.3 Свердла для глибоких отворів

Цими свердлами обробляються отвори, довжина яких в 10 і більше разів більше діаметру. Особливістю свердління є обертання деталі, свердло має тільки осьовий рух подачі, обробка ведеться на спеціалізованих верстаках. Основне призначення цих інструментів виходить з їх назви.

Гарматне свердло (рис.8.11) має головну різальну кромку, розташовану перпендикулярно осі свердла і задній кут  $10...15^\circ$ . При свердлінні інструмент потрібно періодично виводити з отвору для

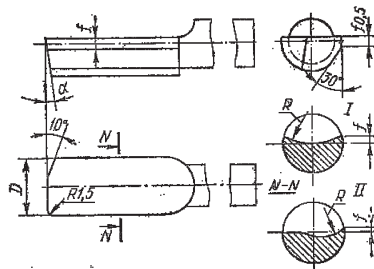







Рис. 8.11: Гарматне свердло

Табл. 8.1: Форми підточки свердла

Діаметр свердла, мм	Форма заточки	Позначення	Ескіз	Оброблюваний матеріал
від 0,25 до 12	Звичайна (нормальна)	Н		Сталь, сталеве лиття, чавун
від 12 до 80	Звичайна з підточуванням поперечної кромки	НП		Сталеве лиття $\sigma_B \leq 50$
	Подвійна з підточуванням поперечної кромки	ДП		Сталеве лиття $\sigma_B \geq 50$
	Подвійна з підточуванням поперечної кромки та стрічки	ДПЛ		Сталь і сталеве лиття з незначною кіркою
	Подвійна з підточуванням і зрізаною поперечною кромкою (по методу В. И. Жирова)	ДП-2		Чавун зі знятою кіркою

видалення стружки.

Рушничне свердло є вдосконаленою конструкцією гарматного свердла, в тілі якого є отвір, крізь нього в зону різання під тиском подається рідина і видаляє стружку, тому процес свердління не уривається. Це свердло може забезпечуватися твердосплавним наконечником.

#### 8.1.4 Кільцеве свердло

Зміст кільцевого свердління деталі (рис.8.12) полягає в тому, що по всій довжині деталі як, би прорізається кільцева порожнина. В результаті виходить утворення потрібного діаметру і сердечник залишається цілісним при порівняно великому діаметрі, або ж він ламається при свердлінні, якщо його діаметр невеликий. Сердечник проходить усередині голівки і стебла. Внаслідок цього значно зменшується площа шару, що зрізається, і робота різання.

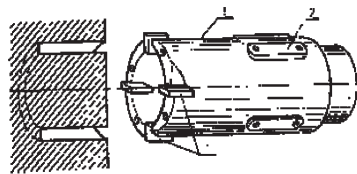


Рис. 8.12: Кільцеве свердло

Кільцеве свердло має такі основні елементи: корпус 3 (сталь 40Х), опори 2 (текстоліт або твердий сплав) та різальні елементи 1 (будь-який інструментальний матеріал). Мазильну охолоджувальну рідину подають під тиском до 5 МПа у внутрішню кільцеву порожнину. Проходячи через зону різання, вона відносить стружку.

#### 8.1.5 Проектування свердла

Геометричний розрахунок спірального свердла включає визначення його основних параметрів залежно від конкретних умов застосування.

Початкові дані для розрахунку свердла :

$D$  – зовнішній діаметр свердла;

$2\phi$  – кут при вершині свердла (головний кут у плані);

$\omega$  – кут нахилу стружкової канавки свердла.

1. Зовнішній діаметр  $D$ . Якщо не має спеціальних умов зовнішній діаметр приймають з ряду рекомендованих значень.

2. Кут  $2\varphi$  при вершині свердла. Величина  $2\varphi$  кута залежить від матеріалу деталі

Матеріал деталі	$2\varphi^\circ$
сталь $\sigma_B$ до 50 кг/мм <sup>2</sup>	115
сталь $\sigma_B = 50...70$ кг/мм <sup>2</sup>	116...118
сталь $\sigma_B = 70...100$ кг/мм <sup>2</sup>	120
сталь $\sigma_B = 100...140$ кг/мм <sup>2</sup>	125
сталь нержавіюча	120

3. Кут  $\omega$  нахилу стружкової канавки свердла залежить від зовнішнього діаметру свердла

Діаметр свердла, мм	$\omega^\circ$	Діаметр свердла, мм	$\omega^\circ$
0,25...0,35	18	3,0...3,4	24
0,4...0,45	19	3,5...4,4	25
0,5...0,7	20	4,5...6,4	26
0,75...0,95	21	6,5...8,4	27
1,0...1,9	22	8,5...9,9	28
2,0...2,9	23	10,0...80,0	30

4. Діаметр  $d_c$  серцевини свердла

$$d_c = (0,12...0,15)D.$$

5. Найбільша подача  $s$  з якою може працювати свердло

$$s = CD^{0,6}$$

де  $C = 0,063$  – при обробленні сталі твердістю HB < 170;  
 $C = 0,047$  – при обробленні сталі твердістю HB > 170;  
 $C = 0,09$  – при обробленні чавуну.

6. Крутний момент  $M_{кр}$ , що виникає під час роботи свердла

$$M_{кр} = 24D^2s^{0,7}.$$

7. Осьове зусилля  $P_{ос}$  під час різання

$$P_{ос} = 57Ds^{0,7}.$$

8. Середній діаметр  $d_{ср}$  хвостовика конусу Морзе який потрібен для передавання зусиль різання

$$d_{\text{ср}} = 1,9 \frac{M_{\text{кр}}}{P_{\text{ос}}}$$

$d_{\text{ср}}$ , мм	7,65	10,5	16,0	21,6	28,45	40,6	58,1
Морзе №	0	1	2	3	4	5	6

9. Крок  $H$  гвинтової стружкової канавки свердла

$$H = \frac{\pi D}{\text{tg } \omega}.$$

10. Діаметр  $d_{\text{св}}$  сердцевини свердла залежить від його зовнішнього діаметру  $D$  і може бути у таких межах

Діаметр $D$ свердла, мм	Діаметр $d_{\text{св}}$ сердцевини, мм
0,25...1,25	$(0,28...0,20)D$
1,5...12,0	$(0,15...0,19)D$
13,0...80,0	$(0,125...0,145)D$

11. Профіль дискового інструменту для утворення гвинтової стружкової канавки свердла.

Пропонована методика аналітичного визначення профілю дискової фрези для утворення гвинтової поверхні свердел, була розроблена Можаяєвим С.С. Відповідно до цієї методики профіль фрези складається з комбінації дуг і прямих (рис.8.13).

Всі кутові параметри у наведених нижче залежностях треба підставляти вираженими у градусах.

Радіус великої дуги  $R$

$$R = C_R C_r C_\phi D$$

$$C_R = \frac{0,026(2\varphi)\sqrt[3]{2\varphi}}{\omega}$$

$$C_r = \left( \frac{0,14D}{d_{\text{св}}} \right)^{0,044}$$

$$C_\phi = \left( \frac{13\sqrt{D}}{D_\phi} \right)$$

Параметр  $D_{\phi}$  це діаметр інструмента (фрези) за допомогою якої утворюють стружкову канавку. У загальному випадку  $D_{\phi} = 13\sqrt{D}$ . Отримане таким чином значення  $D_{\phi}$  необхідно округлити до найближчого стандартного.

Радіус  $r$  малої дуги

$$r = 0,015^{0,75} D.$$

Ширина  $B$  фрези

$$B = R + 0,98r.$$

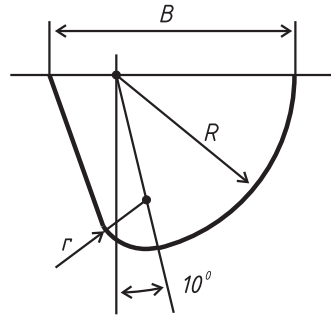


Рис. 8.13: Профіль фрези

12. Задній кут свердла. Задній кут свердла обумовлений способом його заточування. Існує мінімум п'ять способів, які застосовують на виробництві. Отже спосіб заточування буде обумовлений наявним устаткуванням.

## 8.2 Зенкери

**Зенкер призначений** для оброблення вже існуючих отворів з метою покращення їх характеристик [4]. Зенкер це інструмент для оброблення циліндричних та конічних отворів або торцевих поверхонь.

### 8.2.1 Типи зенкерів

За типом кріплення зенкери розділяють на хвостові (рис.8.14) та насадні (рис.8.15). Насадні зенкери мають конічний посадковий отвір, що забезпечує добре центрування на правці. Зенкери виготовляють цільними, зварними, збірними, з припаяними або закріпленими механічно пластинами з твердого сплаву.

По виду оброблюваних отворів зенкери поділяються на:

- циліндричні, для обробки циліндричних поверхонь, операцію називають зенкеруванням;
- конічні, для отримання поглиблень під голівки гвинтів, болтів, заклепок і інших деталей, операцію називають зенкуванням ;

- торцеві, для досягнення перпендикулярності торцевої поверхні отвору до його осі, операцію називають цекуванням;

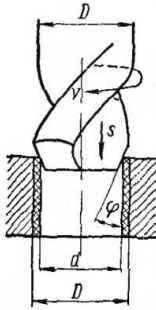


Рис. 8.14: Зенкер цільний

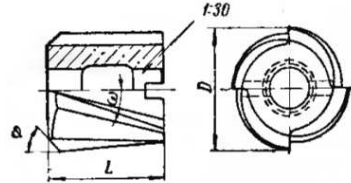


Рис. 8.15: Зенкер насадний

Типи та призначення зенкерів основних конструкцій що застосовують у машинобудуванні наведено в табл.8.2.

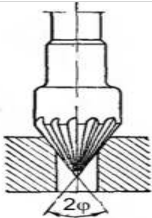
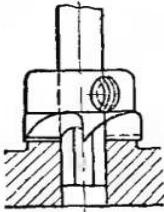
Можливе виготовлення комбінованих зенкерів для обробки двох поверхонь циліндричною і конічною - суміщенням двох операцій – зенкерування і зенкування.

Зазвичай зенкер застосовують для збільшення вже існуючого отвору, для покращення його характеристик. Зенкер часто використовують як проміжний інструмент між свердлом і розверткою. З його допомогою отримують точніший отвір, ніж при свердлінні.

Табл. 8.2: Основні типи зенкерів

Тип зенкера	Призначення
	<p><b>Циліндричний головочний зенкер.</b>  Основне призначення – утворення посадкових місць під головки болтів та гайок. Має елемент, який центрує зенкер відносно обробленого отвору.</p>

Продовження табл.8.2

Тип зенкера	Призначення
	<b>Конічний зенкер</b> (зенківка). Основне призначення – утворення фасок різного розміру. Це можуть бути просто фаски на отворі. Але при необхідності фаски можуть бути великими для посадкових місць під конічні головки потайних гвинтів та шурупів.
	<b>Торцевий зенкер</b> (цекивка). Основне призначення – утворення посадкових місць в де-талях отриманих методом лиття. Як правило, це збірний інструмент який складається з центруючої оправки та змінної різальної частини.

### 8.2.2 Конструктивні параметри

Конструктивні елементи стандартного зенкера цільної конструкції детально подано на рис.8.16. Основними частинами та геометричними параметрами стандартного цільного зенкера є:

- зовнішній діаметр різальної частини  $D$  ;
- загальна довжина інструмента  $L$ ;
- довжина робочої частини зенкера, забезпечена різальними зубами і складається з двох частин:
  - різальною;
  - і калібруючої,
- кількість різальних лез  $Z$  зенкера;
- довжина забірної конусу який входить до складу різальної частини;
- циліндрична стрічка  $f$  на боковій поверхні зенкера;
- кут нахилу стружкової канавки  $\omega$  на зовнішньому діаметрі зенкера;
- задній кут  $\alpha$  на різальній частині;
- передній кут  $\gamma$  на різальній частині;
- кут нахилу  $\lambda$  різальної кромки;
- головний кут у плані  $\varphi$ , кут забірної частини.



Діаметр зенкера вибирають з умов його використання. Якщо зенкер призначений для попередньої обробки отвору після свердління під розвертування, його діаметр вибирають менше номінального діаметру отвору на величину припуску під розвертування (приблизно 0,07...0,1 мм на сторону). Якщо зенкер призначений для остаточної обробки отворів, його діаметр приймають з урахуванням допуску отвору, величини розбиття отвору і запасу на знос.

Після визначення необхідного діаметру зенкера визначають глибину різання  $t$ . Глибина різання  $t$  задається припуском на зенкування і дорівнює половині різниці діаметрів отвору до і після обробки

В тому випадку коли зенкерування застосовують тільки для покращення параметрів отвору величину  $t$  приймають у межах 2...3 мм. Зенкер повинен мати достатню довжину різальної кромки, і її розмір має бути більше глибини різання  $t$  в 1,5-2 рази.

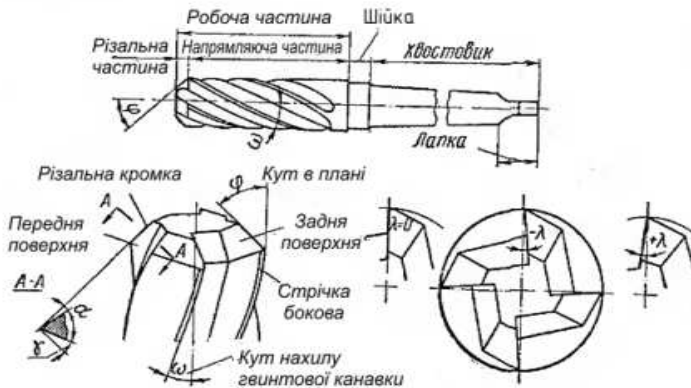


Рис. 8.16: Елементи циліндричного зенкера

Кількість канавок зенкера можна вибрати різним. Зазвичай зенкер має 3...4 канавки. При виборі числа канавок слід забезпечити достатній простір для відведення стружки, з цієї точки зору вигідніше брати менше число канавок. Однак, при необхідності забезпечити достатню чистоту і точність отвору вигідніше приймати велике число канавок, чим більше канавок (бокових фасок  $f$ ), тим краще направлення зенкера в отворі.

### 8.2.3 Геометрія зенкера

#### Кут нахилу стружкових канавок.

Якщо зенкер забезпечений гвинтовими стружковими канавками, необхідно визначити кут гвинтових канавок  $\omega$ . Кут  $\omega$  залежить від властивостей оброблюваного матеріалу і від діаметру зенкера. Зазвичай кут  $\omega$  коливається в межах від 10 до 25°. Його величину визначають на зовнішньому діаметрі інструменту.

#### Передній та задній кути

Передній кут виміряють у площині перпендикулярній до різальної кромки і позначають як Задній кут  $\alpha$  різальної частини (на різальній кромці) зенкерів приймають у межах 6...15°. Задній кут на боковій калібруючій частини дорівнює нулю, через наявність циліндричної стрічки  $f$ .

#### Забірна частина

Кут забірної частини  $2\phi$  є важливим елементом зенкера. Величина кута  $\phi$  впливає на форму стружки і на відведення її з канавок.

Якщо немає особливих умов, викликаних технологічними причинами, то рекомендується кут  $\phi$  приймати в наступних межах:

- для обробки сталі  $\phi = 60^\circ$ ;
- для обробки чавуну  $\phi = 45^\circ$ ;
- для підрізних робіт  $\phi = 90^\circ$ ;
- для зенкерів з твердими сплавами  $\phi = 60^\circ$ ;
- для двозубих зенкерів  $\phi = 75^\circ$ .

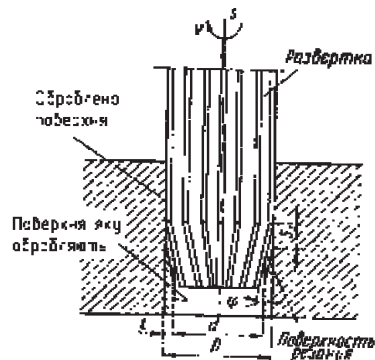


Рис. 8.17: Робота розвертки

### 8.3 Розвертка

**Розвертка** призначена для оброблення отворів у деталях коли застосування внутрішнього шліфування недоцільно [4].

Розвертки застосовують для остаточної обробки отворів після свердління, зенкерування, розточування для отримання високої точності (6...8 квалітет) і шорсткості ( $Ra = 1,25...0,63$  мкм) поверхні отвору [4]. Припуск на розгортання складає 0,15...0,5 мм для чорнових розгорток і 0,05...0,25 мм для чистових. Кількість зубів у розвертки 6...12 зазвичай парне.

Відмінність розвертки від свердел та зенкерів полягає в тому, що розвертка має значно більшу кількість різальних кромки. Стандартна розвертка має 6...8 зубів, а інколи до 12...16. Це дозволяє отримати отвір 7-го квалітету і 7..8-го класу чистоти обробленої поверхні то б то отримати поверхню з параметрами близькими до шліфування. Принцип роботи розвертки (зрізання припуску під оброблення) подано на рис.8.17.

### 8.3.1 Конструкція розвертки.

розвертка - це багатозубий інструмент, який здійснює в процесі оброблення отвору обертання навколо своєї осі (головний рух) і поступально переміщається уздовж осі, здійснюючи рух подачі. Типова конструкція розвертки представлена на рис.8.18.

#### Робоча частина.

Робоча частина складається з двох основних складових:

- різальної – яка зрізує припуск під оброблення;
- та калібруючої – яка калібрує отвір.

Різальна частина на своєму початку має захисний конус, який призначений для захисту інструменту, на випадок якщо припуск перевищить допустимий.

Сама різальна частина  $l_1$  це забірний конус з кутом  $2\varphi$ . Із зміною кута в плані  $\varphi$  змінюється співвідношення між шириною і товщиною зрізу. Із збільшенням кута забірного конуса росте осьове зусилля, ускладнюється просування розвертки. Тому у ручних розверток кут в плані приймається невеликим, в межах , що сприяє також плавному входу і виходу розвертки з отвору.

Машинні розвертки при роботі направляються краще за ручних, тому довжина їх різальної частини (забірного конусу) може бути меншою, а кут в плані великим. При обробці чавуну  $\varphi = 4...5^\circ$ , а

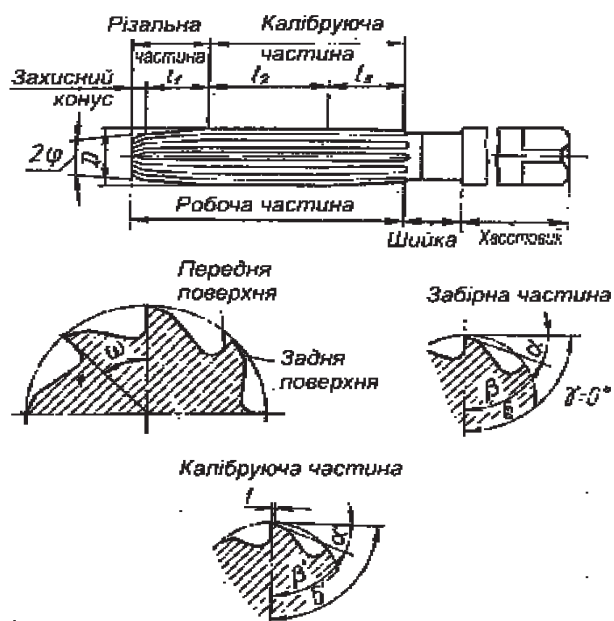


Рис. 8.18: Конструктивні елементи розвертки

при обробці сталі  $\varphi = 12...15^\circ$ . Для глухих отворів як у ручних, так і у машинних розверток  $\varphi = 45...60^\circ$ .

Калібруюча частина складається з циліндричної ділянки  $l_2$  та ділянки  $l_3$  із зворотною конусністю.

Діаметр циліндричної частини  $l_2$  визначає остаточний розмір обробленого отвору. Треба мати на увазі, що ця частина насправді не зовсім циліндрична – вона має зворотну конусність у межах  $1/3$  від допуску на виготовлення розвертки.

Ділянка  $l_3$  являє собою конус, який полегшує вихід інструменту з обробленого отвору. Він не є обов'язковим. Зазвичай довжина зворотного конуса  $3...5$  мм, а інколи  $0,5...0,7$  мм,.

Довжину робочої частини розверток приймають по відповідних стандартах. Для розвертки машинного приводу вона складає, приблизно, діаметр отвору який обробляється. Для ручних розверток довжина робочої частини складає  $5...10$  її діаметрів, а інколи і більше.

### Зубці розвертки

Кількість зубців розвертки вибирається залежно від:

- оброблюваного матеріалу заготовки;
- діаметру інструменту (чим більший діаметр тем більше зубів);
- конструкції інструменту (цільна, складена, напайна).

Із збільшенням числа зубців чистота обробки отворів підвищується, проте зменшується поперечний переріз стружкових канавок, і вони можуть виявитися недостатніми для вільного розміщення та відведення стружки. Розвертки мають від 6 до 14 зубців для цілих машинних і ручних розверток діаметром  $3...50$  мм. Розвертки зазвичай мають парну кількість зубів. Це полегшує вимірювання їх діаметру.

Кількість зубів визначаються за формулою

$$Z = 1,5\sqrt{D} + 2$$

при обробленні крихких металів

$$Z = 1,5\sqrt{D} + 4.$$

Позитивний вплив на роботу розвертки має нерівномірний розподіл зубців по колу (кут  $\omega$  на рис.8.18), що сприяє гасінню вібрацій,

що виникають при роботі, особливо на підвищених режимах різання в умовах недостатньої жорсткості.

### Профіль стружкових канавок.

Утворення стружкових канавок розверток здійснюється однокутовими (рис. 8.19,а) або двокутовими (рис. 8.19,б) фрезами з кутом профілю  $\Theta = 65...110^\circ$ . Для середніх і великих розмірів застосовується профіль з контуром спинки зуба по радіусу, що полегшує розміщення стружки в канавках (рис, 8.19,в).

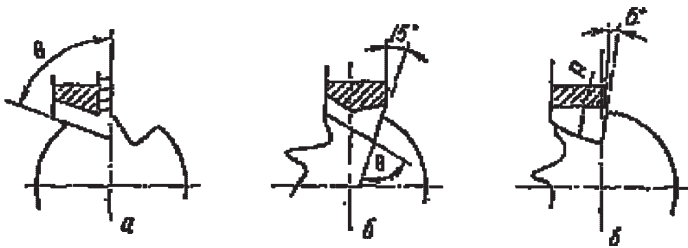


Рис. 8.19: Профіль канавок розвертки

Зазвичай канавки у розверток роблять прямі, що спрощує їх виготовлення та контроль. Однак для оброблення отворів, що уриваються по довжині або мають канавки, застосовують розвертки з гвинтовими зубами.

### 8.3.2 Геометрія розвертки

Детальна геометрія розвертки представлена на рис.8.20. Зубець розвертки на різальній частині  $l_1$  робиться "гостро". Ділянка  $l_2$  потрібна для захисту інструменту на випадок неочікуваного збільшення припуску. На калібруючій частині залишена циліндричної стрічки  $f$  шириною 0,05...0,3 мм. При обробці в'язких металів, щоб уникнути налипання часток металу, ширина стрічки зменшується до 0,05...0,10 мм (дивись примітку<sup>11</sup>). Стрічка служить для направлення розвертки в отворі, сприяє калібруванню отвору і полегшує контроль розвертки по діаметру.

<sup>11</sup> Аркуш звичайного паперу має товщину приблизно 0,1 мм

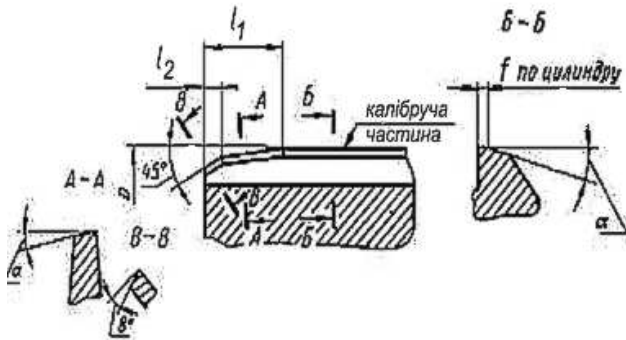


Рис. 8.20: Геометричні параметри розвертки

Передній кут  $\gamma$  розверток зазвичай приймається рівним нулю, оскільки розвертка працює в зоні малої товщини зрізаного шару (0,05...0,1 мм). Характер протікання процесу різання залежить, головним чином, не від переднього кута, а від радіуса закруглення різальної кромки, який співвідноситься з товщиною зрізаного шару. На чорнових розвертках та при обробці в'язких матеріалів передній кут збільшують до  $5..10^\circ$ .

Задній кут  $\alpha$  приймають невеликим для збереження міцності різальної кромки. Його величина обмежується не скільки міркуваннями міцності, скільки способом загострення на верстаті – при значних величинах задніх кутів є небезпека зрізати сусідній зуб. Тому кут  $\alpha$  коливається в межах  $4..8^\circ$ .

### 8.3.3 Типи розверток

#### Цілісні розвертки

Простий і найбільш поширений тип ручної розвертки – цілісна циліндрична з прямими канавками. Їх виготовляють, зазвичай, з хромистої сталі 9ХС. Недолік таких розверток – неможливість регулювання розміру після діаметрального зносу розвертки.

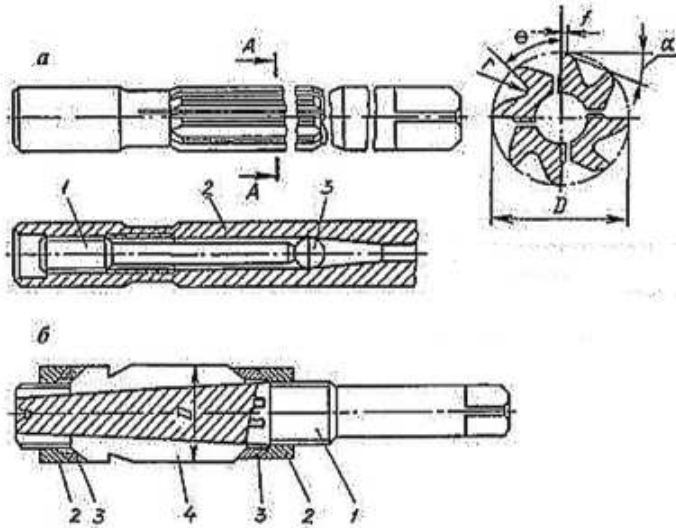


Рис. 8.21: Розвертки що регулюються  
 а – розрізна; б – з розсувними ножами

### Розвертки регульовані

У корпусі 1 розтискної розвертки (рис. 6,а), виготовленої із сталі 9ХС, в центрі просвердлений отвір, на одному кінці якого нарізна різьба; в глибині отвір має конусну частину. В отвір розвертки вставлена кулька 3 і вкручено регульовальний гвинт 2. Якщо почати вкручувати гвинт, то він натискатиме на кульку, яка прагнутиме розтискати стінки отвору.

У середній частині корпус розвертки забезпечений прорізами. По мірі втискування кульки в отвір, корпус розвертки розтискається та збільшується в діаметрі, але збільшення діаметру відбувається тільки в центральній частині розвертки.

У корпусі ручної розсувної розвертки (рис.8.21), виготовленої з конструкційної сталі, профрезеровані точні пази, що йдуть з ухилом, по відношенню до осі розвертки. В пази вставлені з ковзаючою посадкою плоскі ножі. На торцях ножів є скоси під кутом.

Регульовані розсувні розвертки мають значні межі регулювання діаметру:



діаметр розвертки, мм	діапазон регулювання, мм
6...10	≈ 0,15
10...20	≈ 0,25
20...30	≈ 0,40
30...50	≈ 0,50

Ці розвертки дуже зручні для ремонтних робіт. Регульовані ручні розвертки виготовляють для отворів діаметром 10...38 мм, дрібніші розвертки дуже важко виготовляти, а більші розвертки рідко використовують як ручні.

### Розвертки для конічних отворів

Для розвертування конічних отворів застосовують комплект конусних розверток. Розвертки для конічного отвору працюють у важчих умовах, ніж циліндричні. Конічна розвертка ріже усім своїм лезом і не має калібруючої частини, оскільки різальні кромки по усій довжині вступають в роботу. До комплект входять три розвертки: чорнова (обдирна), проміжна і чистова.

Чорнова розвертка (рис.8.22,а) призначена для зняття значного припуску; для полегшення роботи різальної кромки її роблять ступінчастою. Для цього на конічний поверхні розвертки нарізують гвинтовий зуб.

Проміжна розвертка (рис.8.22,б) має стружкорозподільні канавки, нарізані у вигляді різьблення; залежно від діаметру крок цього різьблення рі-зний.

Чистова розвертка (рис.8.22,в) має прямі зубці по усій довжині різальної частини.

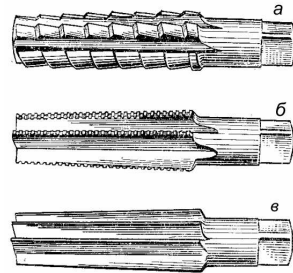


Рис. 8.22: Конічні розвертки

### Машинні циліндричні розвертки

На відміну від ручних розверток, машинні розвертки мають коротку робочу частину і часто менше число зубців.

Машинні розвертки виготовлені із інструментальної сталі подані на рис.8.23,б завжди мають конічний хвостовик. Довжина їх робочої частини приблизно дорівнює їх діаметру.

Машинні розвертки з напаяними пластинами твердого сплаву подані на рис.8.23,а нічим не відрізняються від звичайних, окрім того що їх робоча частина трохи коротша, приблизно 0,8...0,9 від діаметру.

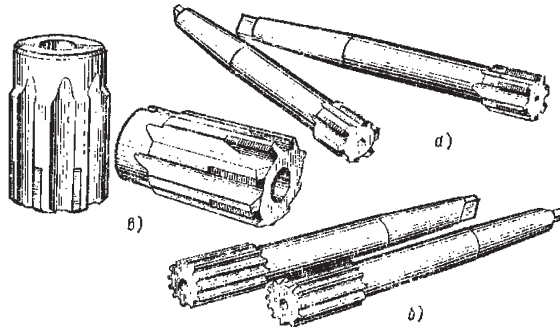


Рис. 8.23: Машинні розвертки

Починаючи з 25...30 мм розвертки можна виготовляти не хвостовими, а насадними (рис.8.23,в). Насадні розвертки виготовляють з легованої сталі 9ХС, а також зі швидкорізальної сталі. Застосування насадної конструкції обумовлено виключно фінансовими факторами.

### 8.3.4 Проектування розверток

Вибір конструктивних елементів розверток здійснюють у такій послідовності [5].

1. Діаметр розвертки  $D$  залежить від діаметру отвору  $D_o$ , допуску  $\Delta$  на отвір що утворюють та величини розбивки  $P$

$$D = D_o + \Delta + P$$

Схема розташування полів допусків на діаметр розвертки наведена на рис.8.24. На якому:

- $d$  – допуск на виготовлення оброблюваного отвору;
- $P_{max}$  – найбільша величина розбиття при обробленні;
- $P_{min}$  – найменша величина розбиття при обробленні;
- $N$  – допуск на виготовлення розвертки;

$L$  – запас на знос розвертки в процесі експлуатації.

Параметри  $P_{max}$  та  $P_{min}$  визначають експериментально обробивши невелику пробну партію деталей (3...5 деталей). Співвідношення  $N$  до  $L$  приблизно як 1:3.

Треба відзначити, що параметри  $P_{max}$  та  $P_{min}$  розбиття отвору залежать від досить значної кількості факторів. Насамперед це характеристики рідини яку використовують під час роботи розвертки. Найкращий склад цієї рідини для застосування при розвертуванні – на основі мастил.

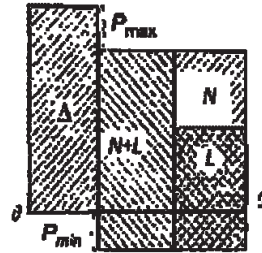


Рис. 8.24: Допуски розвертки

2. Діаметр  $D_1$  зворотного конусу. Калібруюча частина розвертки має конічну форму – зворотну конусність. Діаметр  $D_1$  меншої частини конусу визначають

– для ручних розверток

$$D_1 = D - (0,005...0;008) \text{ мм}$$

– для машинних розверток

$$D_1 = D - (0,04...0,08) \text{ мм.}$$

Інколи у машинних розверток на калібруючій частині залишають незначну циліндричну ділянку біля забірного конусу інструменту.

3. Кут  $\varphi$  при вершині розвертки залежить від типу розвертки

– для ручних розверток

$$\varphi = 12^\circ...15^\circ$$

– для машинних розверток

$$\varphi = 0^\circ30'...1^\circ30'$$

– для розверток що обробляють глухі отвори

$$\varphi = 45^\circ.$$

У місці стику забірної частини та калібруючої утворюють плану перехідну криву.

4. Довжина  $l_1$  забірної частини становить

$$l_1 = \frac{D - D_1}{2} \operatorname{ctg} \varphi + m$$

де  $m = 1 \dots 3$  мм (залежно від діаметру розвертки).

5. Довжина  $l$  робочої частини розвертки

$$l = (0,8 \dots 3)D$$

6. Кількість  $z$  зубів розвертки можливо розрахувати

$$z = 1,5\sqrt{D} + (2 \dots 4)$$

або призначити

$D$ , мм	3...10	10...20	20...30	30...45	45 та більше
$z$	6	8	10	12	14

7. Задній кут  $\alpha$  залежить від типу розвертки:

- для чистових розверток  $\alpha = 6 \dots 8^\circ$
- для чорнових розверток  $\alpha = 8 \dots 10^\circ$

8. Передній кут  $\gamma$  приймають

- для чистових розверток  $\gamma = 0^\circ$
- для чорнових розверток  $\gamma = 5 \dots 10^\circ$

9. Кутовий крок  $\omega$  зубців розвертки виконують нерівномірним по колу. Це дозволяє значно покращити якість обробленої поверхні. Різниця між кутовим кроком сусідніх зубців становить  $1 \dots 2^\circ$ .

## 8.4 Питання для самоконтролю

1. Опишіть призначенні свердел.
2. Опишіть призначення зенкерів.
3. Опишіть призначення розверток.
4. Опишіть основні конструкційні параметри стандартного спірального свердла.

5. Опишіть конструкцію стандартного зенкера.
6. Опишіть конструкцію стандартної розвертки.
7. Що таке поперечна різальна кромка свердла?
8. Чому дорівнює передній кут стандартного спірального свердла?
9. Чому дорівнює передній кут розвертки?
10. Чи є незмінним передній кут свердла вздовж різальної кромки?

## Література

- [1] Лакирев С. Г. Обработка отверстий: Справочник.— М.: Машиностроение, 1984.—208 с.
- [2] Шатин В. П., Шатин Ю. В. Справочник конструктора-инструментальщика. М.: Машиностроение, 1975. – 456 с.
- [3] Сысоев В.И. Справочник молодого сверловщика. М.; Профтехиздат, 1962, – 138 с.
- [4] Работин А.Н. Зенкерование и развертывание. М.; Машгиз. 1959. – 120 с.
- [5] Климов В.И. Справочник инструментальщика конструктора. М.: Машгиз, 1958, –668 с.

Я знаю тільки те,  
що нічого не знаю.

*Сократ*

## 9 Протяжки

Протяжками називають багатолезовий інструмент [1, 3] який застосовують для оброблення поверхонь фасонного профілю за кінематичною схемою прямолінійного поступального руху інструменту та деталі.

Залежно від того, яку поверхню обробляє протяжка їх поділяють на дві основні групи:

- внутрішні – вони обробляють внутрішні поверхні (і є найбільш поширеними);
- та зовнішні – ті що обробляють зовнішні поверхні (як правило спеціальні).

Для оброблення протяжкою внутрішньої поверхні у деталі потрібно попередньо зробити отвір. Діаметр отвору під протяжку виконують меншим ніж розмір обробленої деталі, залишаючи певний припуск на оброблення протяжкою, який називають припуском на протягування.

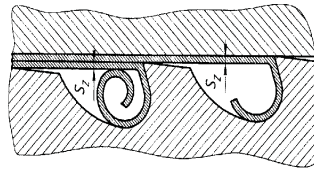


Рис. 9.1: Робота протяжки

**Особливість** протяжки полягає в тому, що вона не має руху подачі [2]. При відсутності руху подачі зрізування припуску реалізується за рахунок того, що висота кожного наступного зуба перевищує висоту попереднього на величину  $s_z$ , яку називають підйомом на зуб або подачею на зуб. На рис.9.1 показана загальна схема зрізування припуску під час роботи протяжки.

Внутрішнє протягування застосовують при обробленні круглих, багатограних, шпонкових та шліцьових отворів. У загальному випадку протяжка може утворювати отвір довільного фасонного профілю. Найчастіше протягуванням утворюють отвори діаметром 10...75 мм, завдовжки 2,5...3 діаметри.

**Рух різання** при протягуванні співпадає з віссю інструмента і є прямолінійним. Кожний різальний зуб зрізує шар металу товщиною  $s_z$ , а в цілому всі різальні зуби – сумарний шар, який є припуском на оброблення.

При обробленні деталей протяжками досягається висока точність розмірів і геометричної форми, а також низька шорсткість поверхні порівняну із шліфуванням. Тому протягування широко застосовують в багатьох галузях машинобудування для фінішної обробки внутрішніх і зовнішніх поверхонь [4, 5].

Для протяжки, як різального інструменту, можливо виділити ряд характерних особливостей. А саме,

- простота реалізації робочого руху інструменту – пряма лінія;
- відсутність руху подачі як окремого руху;
- найкоротша траєкторія різання – пряма лінія;
- малий час контакту інструменту та деталі між початком і закінчення утворення поверхні деталі:

Наприклад, під час оброблення деталі довжиною 50 мм час контакту між деталлю та кожним окремим різальним елементом протяжки (зубом) становить приблизно 1,5 секунди.

- висока продуктивність – стандартний шліцьовий отвір протяжка утворює ніж за 40...50 сек;
- стійкість протяжок – дозволяє працювати декілька змін без періодичної наладки верстата і інструменту.

У процесі оброблення отвору протяжка здійснює, відносно заготовки, прямолінійний поступальний рух.

**Швидкість** робочого руху протяжки (швидкість різання) становить 2...12 м/хв для протяжок виконаних із інструментальної сталі (табл. 1. . . 3). Це значно менше ніж для багатьох інших металорізальних інструментів.

Однак завдяки особливості кінематичної схеми формоутворення протяжка має один з найвищих показників за продуктивністю. Так під час оброблення шліцьових отворів, продуктивність становить 80...120 деталей на годину.

**Інструментальний матеріал** який застосовують для виготовлення протяжки – це зазвичай швидкорізальна сталь Р6М5. У не дуже відповідальних випадках застосовують дешевшу леговану сталь ХВГ або ХГ.

## 9.1 Конструкція протяжки

Конструкція протяжки складається з елементів, які призначають не за розрахунками, а з конструктивних міркувань та у відповідності до характеристик наявного устаткування.

Торцеві поверхні протяжки мають центрові отвори, які використовують як технологічні бази під час їх виготовлення та наступних переточуваннях у період експлуатації. Тому центрові отвори протяжок повинні бути із запобіжним конусом.

У загальному випадку протяжка складається з (рис.9.2):

- передньої частини 1 ,
- робочої частини 2, яку іноді називають різальною частиною протяжки
- та заднього хвостовика 3.

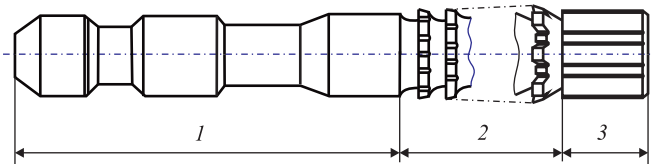


Рис. 9.2: Основні елементи протяжки

**Передня частина** протяжки будь-якого профілю складається з таких конструктивних елементів:

- передній хвостовик 12,
- шийка 10,
- перехідний конус 9
- та передня напрямна 8.

На рис.9.3 подано загальну конструкцію передньої частини протяжки встановленої на верстаті та з надітою заготовкою.

Протяжка 7 з надітою на неї заготовкою 6 закріплена в патроні 1. Хвостовик 12 має кільцеву проточку 11 у яку заходить кулак 3. Він передає тягове зусилля верстату до інструменту. Для того щоб кулак 3 не вийшов із проточки 11 зовні надіта гільза 2 патрону. Вона може пересуватись вздовж патрону звільнюючи кулак.

Перевагою такої конструкції хвостовика є швидке закріплення та вивільнення протяжки із патрону. Заготовка 6 спирається на опorne кільце 5, яке у свою чергу спирається на вертикально розташова-



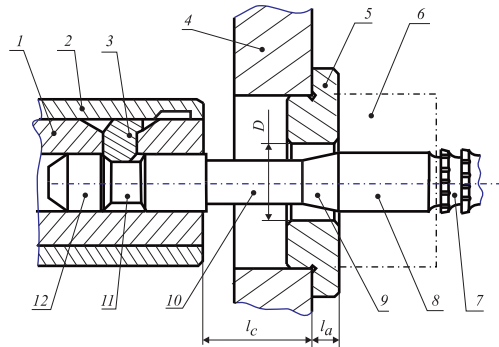


Рис. 9.3: Передня частина протяжки

ний стіл 4 протяжного верстату. Отвір в опорному кільці виконують такого розміру, щоб заготовка не провалювалась в нього. Якщо зробити його занадто великим, то заготовка може прогнутись під дією зусиль різання, тому діаметр отвору в опорному кільці роблять якомога меншим. У разі необхідності на опорному кільці встановлюють пристосування для базування заготовки.

Між проточною 11 та різальною частиною 7 протяжки розташовані передня напрямна 8, перехідний конус 9 та шийка 10. Шийка це перехідний елемент протяжки, який поєднує хвостовик та передню напрямну. На ній наносять маркування відповідно до характеристик інструменту. Передня напрямна центрує деталь відносно інструменту. Шийка 10 та перехідний конус 9 є допоміжними елементами, які з'єднують хвостовик з передньою напрямною та робочою частиною протяжки. Їх довжина повинна забезпечувати можливість приєднання протяжки до патрону протяжного верстата.

Кінцеву частину хвостовика виконують у вигляді кільцевої виточки, в яку у радіальному напрямку входять кулачки автоматичного або напівавтоматичного патрону, які здійснюють силове замикання протяжки з патроном та передають тягове зусилля протяжного верстата.

Таким чином, довжина протяжки до першого зубу складається з таких складових елементів:

- товщина заготовки (довжина майбутнього отвору);
- товщина опорної пластини (залежить від конструкції пристрою);

- товщина столу верстата (залежить тільки від його моделі);
- довжина переднього хвостовика (залежить від типу патрону).

Товщина опорної пластини протяжного верстата та його технічні характеристики в загальному випадку наведені в табл. 9.1.

Табл. 9.1: Протяжні верстати

Верстат	Тягове зусилля, кН (кГ)	$D$ , мм	$l_a$ , мм	$l_c$ , мм	Хід, мм
7505	50 (5100)	75	30	60	1160
7A510	100 (10204)	100	30	70	1450
751	100 (10204)	70	25	70	1350
751Д	100 (10204)	100	30	60	1520
7510М	100 (10204)	100	30	60	1520
7A520	200 (20408)	130	40	80	1840
7520	200 (20408)	150	35	75	1600
752	200 (20408)	70	25	70	1600
7540	550 (56124)	180	50	100	2330

**Різальна частина** є головною частиною будь-якої протяжки. Інші ж частини, які іноді називають гладкими частинами протяжки, слід розглядати як допоміжні. На рис. 3 подано схематичне зображення передньої частини протяжки встановленої на верстаті разом із заготовкою.

**Задній хвостовик** перешкоджає перекосу деталі в момент виходу з неї останніх зубів протяжки, усуваючи тим самим небезпеку пошкодження обробленої поверхні та пошкодження зубів інструмента тому його називають задньою напрямною.

Поперечний переріз задньої напрямної повинен бути таким щоб забезпечити добре центрування деталі відносно інструменту. Довжина задньої напрямної залежить від діаметру отвору, але не є менше 20 мм та не більше 70 мм.

Для роботи протяжками застосовують горизонтальні та вертикальні протяжні верстати. Найбільше поширення отримали верстати горизонтального компонування, які застосовують для формоутворення отворів різного профілю.

Станки вертикального компонування займають меншу площу і більш пристосовані до автоматизації технологічних процесів. Тому вертикальні станки здебільшого застосовують у автоматизованому виробництві, а горизонтальні у одиничному та мало-серійному.

## 9.2 Різальні та калібруючі зубці

Основною частиною протяжки є різальна та калібруюча частини. Вони видаляють припуск на обробку та утворюють остаточний профіль деталі. Відповідно до цього розразняють різальні та калібруючі зубці.

**Різальна частина** складається з зубів, профіль різальних кромок та розміри яких поступово змінюються. Профіль та розміри:

- першого різального зуба співпадають з профілем та розмірами попереднього отвору у заготовці під протягування.
- останнього зуба – з профілем та розмірами готового отвору.

**Різальні зуби** рис.9.4 послідовно змінюються у розмірах, внаслідок чого відбувається поступове зрізування припуску.

**Калібруючі зуби** рис.9.5 розташовані безпосередньо за різальними зубами. Вони призначені для калібрування отвору та для забезпечення працездатності протяжки після її чергового загощення. Для цього вони мають фаску на задній поверхні.

На відміну від різальних зубів розміри та форма всіх калібруючих зубів однакові і відповідають формі та розмірам готового отвору. Вони мають подвійне призначення:

- перше призначення для загладжування обробленої поверхні та гарантованого отримання отвору певних розмірів;
- другим призначенням калібруючі зуби є поповнення різальних зубів, котрі виходять із роботи внаслідок зміни своїх розмірів після переточування протяжки.

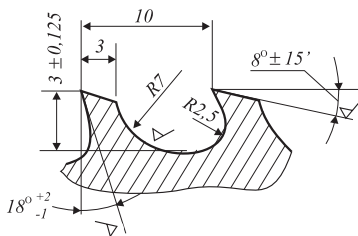


Рис. 9.4: Різальний зуб

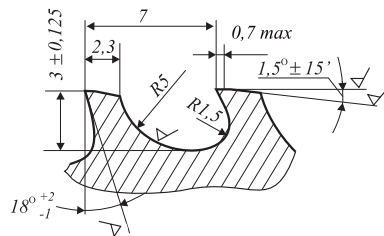


Рис. 9.5: Калібруючий зуб

Після першого ж переточування всі різальні зубці змінять свій розмір. І тоді у роботи вступають калібруючі хубці. Так після перших кількох переточок перший калібруючий зуб буде виконувати роботу останнього по черзі різального зубу. Далі, по мірі переточування протяжки, у роботу замість різальних зубів будуть входити наступні калібруючі зуби.

Різальна та калібрувальна частини є головними частинами будь-якої протяжки. Інші ж частини, які іноді називають гладкими частинами протяжки, слід розглядати як допоміжні.

### 9.3 Схеми різання при протягуванні

Конструкція різальної частини протяжки та її стійкість у значній мірі залежать від прийнятої схеми різання. Під схемою різання при протягуванні мають на увазі схему послідовності зрізання припуску із заготовки різальними зубами протяжки та характер поступової зміни форми і розмірів поверхні, що обробляється.

Схема різання визначає також спосіб розподілення роботи між різальними зубами протяжки. В теперішній час при протягуванні використовують дві схеми різання:

- одинарну;
- та групову.

#### 9.3.1 Одинарна схема різання

При одинарній схемі кожний зуб протяжки має підйом на зуб на величину  $s_z$  (подача на зуб). Він може бути однаковий або різний для різних зубів протяжки, але він є для **кожного** наступного зубу.

Існує три (табл. 9.2) різновиди одинарної схеми різання :

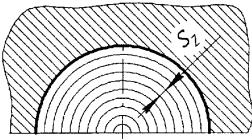
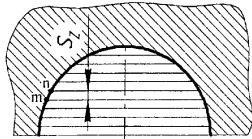
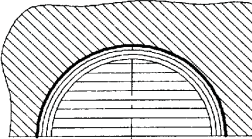
- профільна;
- генераторна;
- та комбінована.

**При профільній** схемі різання всі різальні зуби протяжки мають форму (профіль) подібну до профілю поперечного перерізу повністю обробленої протягуванням поверхні деталі.

Перші різальні зуби протяжки не приймають участі в формуванні профілю обробленої поверхні і тільки видаляють основну масу

припуску на протягування. Остаточне формування профілю деталі здійснюється останнім різальним зубом протяжки.

Табл. 9.2: Одинарна схема різання

Схема зрізування припуску	Пояснення
	<b>Профільна схема.</b> Кожний зуб протяжки повторює форму профілю поверхні майбутньої деталі і має підйом на величину $s_z$ відносно до попереднього зуба. Кожний наступний зуб збільшується у розмірі відносно попереднього. Остаточна поверхня деталі повністю утворюється останнім різальним зубом протяжки.
	<b>Генераторна схема.</b> Кожен зуб має підйом відносно попереднього, але за своєю формою зуби не повторюють профіль готової деталі. Кожний зуб послідовно генерує окрему частку профілю деталі. Через це дану схему зрізання припуску інколи називають “послідовною”.
	<b>Комбінована схема.</b> По суті це комбінація двох попередніх схем. Її перевага в тому, що остаточно поверхня деталі утворюється одним зубом (різальною кромкою) який має повний профіль деталі і тому не залишає на ньому рисок у місці послідовного переходу від зуба до зуба.

У протяжок, що працюють за профільною схемою різання кожний зуб виготовляють окремо, адже вони різні за розміром хоча і мають однаковий за формою (саме за формою, а не за розмірами) профіль.

При обробленні складних поверхонь профільна схема різання нерациональна. Відтворити складну форму, різну за розмірами для кожного зуба протяжки дорого. Профільну схему різання використовують лише при обробленні простих поверхонь – площин, циліндрів.

**Генераторна** схема різання “генерує” профіль деталі. Інколи генераторну схему називають “послідовною”. Але це не дуже вдала назва, адже всі протяжки і так працюють послідовно кожним своїм зубом.

При виготовленні протяжок, що працюють за генераторною схемою різання, усі зуби протяжки виготовляють одночасним шліфуванням абразивним шліфувальним кругом одного профілю на прохід. Далі, різальні зуби зрізують по висоті на величину відповідно з прийнятим підйомом  $s_z$  на зуб. Така технологія виготовлення протяжок значно простіша, ніж для протяжок із профільною схемою різання. Тому собівартість протяжок, що виготовлені за послідовною схемою різання, особливо при обробці складних за формою поверхонь, значно менша ніж протяжок з профільною схемою різання.

Однак треба зауважити, що при використанні протяжок з генераторною схемою різання на обробленій поверхні можуть утворюватись повздовжні риси внаслідок неточного виготовлення протяжки. Тому на виробництві при високих вимогах до якості обробленої поверхні в окремих випадках використовують комбіновану схему різання.

**Комбінована** схема є поєднуванням генераторної та профільної схем.

При комбінованій схемі різання перші різальні зуби працюють за генераторною схемою та видаляють практично весь припуск на обробку. Але останні два-три різальних зуби мають повний профіль з підйомом на зуб  $s_z$ .

Внаслідок чого вони зрізують шар металу по усьому контуру, тобто працюють за профільною схемою різання. Таким чином усуваються повздовжні риси на обробленій поверхні характерні для протяжок з послідовною схемою різання.

**Недоліком** всіх трьох типів протяжок виконаних за одинарною схемою різання (профільна, генераторна, комбінована) є їх значна довжина.

### 9.3.2 Групова схема різання

Протяжки з груповою схемою різання зрізують певний шар припуску товщиною  $s_z$  групою зубів. У таких протяжок усі різальні зуби розділені на групи одного діаметру. На рис. 9.6 представлено групу з трьох зубів протяжки яка утворює круглу поверхню отвору.

За своєю формою перші (різальні) зуби (на кресленні 1 та 2) групи мають радіусні викружки розташовані у шаховому порядку. Останній, зуб 3 є суцільним (круглим). Він не зрізує матеріал деталі. Його призначення тільки зачистити можливі залишки.

Діаметри різальних зубів, які входять в кожную групу (на прикладі 1 та 2) однакові. Діаметри груп, від першої до останньої, поступово

збільшуються на певну величину. Тобто у цих протяжок задається підйом не на кожний окремий різальний зуб, а на кілька зубів поєднаних у одну групу. На прикладі цифрами 1-2 позначені різальні зуби однієї групи, які мають однаковий діаметр у своїй групі, але більший на величину  $s_z$  від попередньої групи.

По зовнішньому контуру різальних зубів зроблені фаски радіусної форми, викружки (вони заштриховані). В наслідок цього кожен зуб однієї групи зрізує метал не по всьому профілю (контур) поверхні, що обробляється, а окремими полосами між викружками, які поділяють весь контур профілю на окремі ділянки. Викружки на зубах розташовані у шаховому порядку.

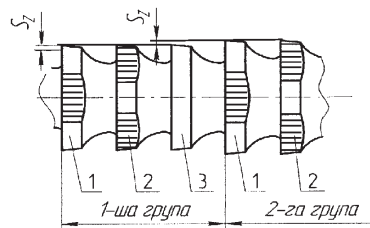


Рис. 9.6: Групова схема різання

Останній (третій) зуб групи має суцільну різальну кромку. Однак він не зрізує шар металу по усьому профілю отвору, а лише те, що залишилося не зрізаним попередніми зубами групи.

Діаметр останнього зубу у групі менше діаметра попередніх зубів даної групи на 0,02...0,04 мм. Це робиться для того, щоб останній зуб групи не зрізав суцільний шар металу по усьому профілю і тим самим не створював би стружку у вигляді цільного кільця, яке буде важко зняти з протяжки.

Таке явище може виникати внаслідок зменшення діаметра отвору за рахунок пружних деформацій після проходу перших зубів групи, а також у випадку надмірного зменшення діаметра перших зубів при переточуваннях.

**Групова** схема різання має ряд **переваг** у порівнянні із протяжками одинарної схеми різання:

- внаслідок того, що різальні зуби протяжок з груповою схемою різання зрізують метал окремими вузькими полосами, їх товщина може бути більшою ніж товщина зрізу при одинарній схемі різання;
- це призводить до зменшення сили різання на одиницю довжини різальної кромки;
- \* тому при однаковій площі перерізу зрізаного шару

протяжки з груповою схемою різання забезпечують менші зусилля різання.

Отже, при однаковій силі різання ними можна зрізати припуск більшої площі. Це дозволяє зменшити кількість різальних зубів та застосовувати протяжки меншої довжини.

При роботі протяжок з груповою схемою різання утворюється хоч і більш товста, але рівномірна без ребра жорсткості стружка. Така стружка краще формується у виток і більш щільно укладається у впадині між зубами. Внаслідок цього можна зменшити крок між різальними зубами та довжину різальної частини протяжки приблизно на 30% у порівнянні із протяжками з одинарною схемою різання.

Вибираючи схему різання при проектуванні протяжки слід враховувати, в першу чергу, технологічність протяжки, можливість забезпечення вимог до точності та якості оброблено поверхні, а також силові характеристики процесу протягування.

## **9.4 Подача на зуб**

Різальна частина є основною частиною протяжки, яка визначає якість та продуктивність процесу протягування. Під час конструювання протяжок необхідно вибирати

- величину подачі (підйому) на зуб (або групу зубів);
- крок зубів;
- та форму канавки для розміщення стружки, яка утворюється під час роботи протяжки.

Вибір цих параметрів визначає розміри та кількість зубів, а також працездатність протяжки. Але всі вони залежать від подачі на зуб.

Визначення подачі на зуб (або підйому зубів) протяжки має визначальний вплив на весь процес протягування. Чим товща стружка, яку зрізує окремий зуб, тим коротша протяжка і тим більша її продуктивність. Але занадто товста стружка, через значні зусилля різання, може спричинити розрив протяжки та поломку верстату.

При роботі з великою подачею об'єм канавки може статись замалим для розміщення стружки і навіть коли протяжка не зламається якість обробленої поверхні буде низька.

Ширина стружки, яку зрізує окремий зуб, є загалом величиною перемінною. Через це у разі постійної (не змінної) величини подачі на зуб площа поперечного перерізу стружки, а також зусилля про-



тягування є перемінними по довжині інструменту.

Отже, для рівномірного завантаження верстату та інструменту доцільно змінювати величину подачі на зуб для окремих частин протяжки. Однак це значно ускладнює виготовлення протяжки. Тому зазвичай підйом на зуб роблять постійним для всієї протяжки, а на останніх 2...3 різальних зубах, що розташовані перед калібруючими трохи зменшують.

Табл. 9.3: Подача на зуб

Деталь	$s_z$ , мм
Сталь	0,03...0,08
Чавун	0,04...0,10

Вибираючи величину подачі  $s_z$  табл.9.3 треба враховувати, що малі товщини зрізаної стружки забезпечують зменшення шорсткості обробленої поверхні та потребують менших зусиль протяжного верстату. У разі вибору великої подачі довжина протяжки виявляється коротшою, однак значно підвищуються зусилля різання.

**Не треба** застосовувати подачі більші за 0,15 мм під час оброблення сталі та 0,2 мм під час оброблення чавуну, так як у такому випадку різко зростає знос інструменту та погіршується якість обробленої поверхні.

**Не треба** застосовувати подачі що дають дуже тонкі стружки менші за 0,012...0,015 мм. Це потребує додаткової доводки різальних кромок під час заточування протяжки та частого переточування інструменту.

Протяжки профільної схеми різання зазвичай мають однакову подачу для всіх зубів за винятком кількох останніх на яких подача поступово зменшується. Ці зубці називають перехідними або зачисними. Вони необхідні для плавного переходу від різальних до калібруючих зубів, що дозволяє отримати меншу шорсткість обробленої поверхні.

Різний розподіл подачі між окремими зубами мають протяжки групової схеми різання у яких усі різальні зуби поділяють на чорнові, перехідні та чистові. Чорнові зуби зрізують основний припуск, а перехідні та чистові виконують кінцеве оформлення поверхні деталі. В окремих випадках перехідні зуби можливо не виконувати, застосовуючи тільки чорнові та чистові зуби.

## 9.5 Стружкова канавка

Головним елементом, який найбільше впливає на всю роботу протяжки є форма та розміри стружкової канавки між зубами протяж-

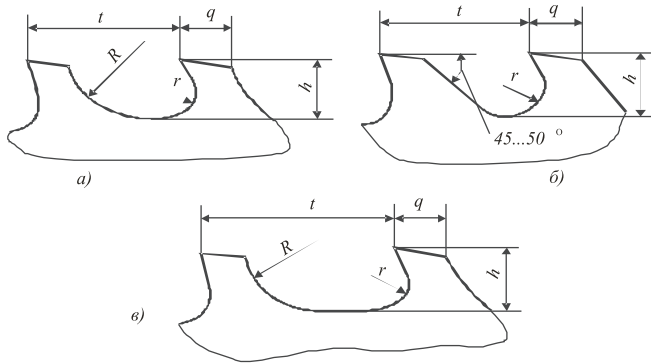


Рис. 9.7: Форма стружкової канавки

ки. Вони мають суттєвий вплив на її загальну довжину та міцність.

Протяжка працює на розрив і стружкова канавка послаблює її. Зрізана стружка повинна мати можливість вільно розміститись у канавці між зубами без значного деформування. Загалом вона скручується у виток, який повинен вільно розміститись у канавці. Однак через те, що виток стружки займає більший об'єм ніж об'єм зрізаного матеріалу, канавка для стружки повинна бути більшою ніж шар металу перетвореного у стружку.

Отже, співвідношення між об'ємом канавки та об'ємом металу, зрізаного окремим зубом, повинно бути більшим за одиницю. Це співвідношення називають коефіцієнтом заповнення канавки та позначають як  $k$  (у деякій літературі як  $K$ ). Коефіцієнт  $k$  заповнення стружкової канавки залежить від прийнятої величини подачі на зуб  $s_z$  та матеріалу заготовки. У загальному випадку він дорівнює  $k = 2, 5 \dots 3, 5$ .

**Кількість зубів** що одночасно працюють (знаходяться у контакті із заготовкою) має суттєвий вплив на процес оброблення шліцьового отвору.

Загалом, чим більша кількість зубів протяжки одночасно контактує з заготовкою, тим більш плавно працює інструмент. Але чим більше одночасно працюючих зубів, тим менша відстань між ними і тим трудніше розмістити стружку у стружковій канавці.

**Розміри канавки** напряму впливають на кількість зубів що працюють одночасно. Чим більша канавка, тим більша відстань між зубцями і тим менша кількість зубців одночасно в роботі.

При протягуванні кожний зуб врізається в заготовку всією кромкою одночасно. Це призводить до різкого підвищення зусиль різання (практично відбувається удар). Через це інструмент працює із значними коливаннями. Але чим більше зубів в роботі – тим менше коливання зусиль на загальному фоні. Тому прийнято, що кількість зубів протяжки які одночасно працюють не повинна бути меншою трьох зубів.

**Форма канавки** для стружки (рис.9.7) залежить тільки від матеріалу заготовки:

- канавку за рис.9.7,а застосовують при обробленні пластичних матеріалів, які утворюють м'яку зливну стружку, що не дуже добре згортається у виток та займає значний простір;
- канавку за рис. 9.7,б застосовують при обробленні звичайних конструкційних сталей та матеріалів, які утворюють стружку надлому. Така стружка добре поділяється на окремі елементи та досить щільно заповнює канавку між зубами;
- канавку за рис. 9.7,в застосовують при обробленні довгих отворів, коли необхідно розмістити велику кількість стружки.

Загалом мілку канавку застосовують у випадку, коли зусилля протягування будуть занадто великі і розміри канавки (її глибину) необхідно буде зменшити, щоб збільшити площу поперечного перерізу протяжки. Але це можливо визначити тільки після перевірки протяжки на міцність.

## 9.6 Питання для самоконтролю

1. Назвіть типи протяжок
2. Основні конструктивні елементи протяжки?
3. Призначення калібруючих зубів?
4. Форма передньої поверхні протяжок для оброблення круглих отворів?
5. Форма стружкової канавки залежно від матеріалу деталі?
6. Охарактеризуйте одинарну схему різання при протягуванні.
7. Охарактеризуйте профільну схему різання при протягуванні.
8. Охарактеризуйте групову схему різання.
9. Опишіть діаметральний розподіл розміру зубів в групі.
10. Призначення задньої направляючої.

## **Література**

- [1] Канцев П.Г. Протяжные работы. - М.: Высш. шк., 1985. - 191 с.
- [2] Кирсанов Г.Н. и др. Руководство по курсовому проектированию металлорежущих инструментов. - М.: Машиностроение, 1986. - 288 с.
- [3] Маргулис Д.К. Протяжки переменного резания : текст /Д.К. Маргулис. – М.: Машиностроение, 1962. – 286 с.
- [4] Протяжки для обработки отверстий / Маргулис Д.К., Тверской М.М., Амихлин В.И. и др. - М.: Машиностроение, 1986. - 230 с.
- [5] Щеголев А.В. Конструирование протяжек : текст / А.В. Щеголев. – М.: Машиностроение, 1960. – 346 с.

У вченні не можна зупинятися.

*Сюнь-Цзи*

## 10 Різьбонарізні інструменти

Утворення різьби здійснюється інструментами, які можна підрозділити на три групи залежно від методу обробки різьби [3, 4]:

- нарізування різьби лезовим інструментом з утворенням стружки:
  - різьбові різці і гребінки;
  - мітчики;
  - різьбонарізні плашки;
  - різьбонарізні голівки;
  - різьбові фрези.
- шліфування різьби односторонніми і багаторізними дрібнозернистими шліфувальними кругами;
- накатування різьби :
  - накатні ролики;
  - плоскі накатні - плашки;
  - голівки з накатними роликами;

Часто нарізування різьби розділяють на дві операції:

- чорнову;
- і чистову, особливо це важливо при нарізуванні точної і довгої різьби.

У сучасному машинобудуванні найбільш поширені такі інструменти для утворення різьби:

- токарні різьбові різці (внутрішня та зовнішня різьби);
- мітчики (тільки внутрішня різьба);
- плашки (тільки зовнішня різьба).

### 10.1 Різьбові різці

Історично це самий перший інструмент для утворення різьби. Різьбові різці застосовують для нарізування зовнішньої і внутрішньої різьби [1]. По конструкції різьбові різці можуть бути стержневими,

призматичними і круглими, а також односторонніми і багаторічковими – фасонними (рис.10.1).

Бічна поверхня різьби є гвинтовою поверхнею, тому дійсні задні кути різця при нарізуванні різьби будуть змінюватися залежно від кута профілю різьби кута її підйому.

При нарізуванні точних трапецеїдальних різьб різцями з прямолінійними різальними кромками необхідно встановлювати так, щоб вони розташовувалися в осьовому перерізі різьби (то б то строго горизонтально по відношенню до верстата). Тільки в цьому випадку можливо геометрично правильно сформувати різьбу [2]. Теоретично поверхня стандартної метричної різьби є поверхнею Архімеда.

Проте таку установку із-за неоднакових умов різання справа і ліворуч (різні передні кути) можна застосовувати лише при чистовій обробці різьб. При черговій обробці передню поверхню різця доцільно розташовувати в площині, нормальній до напрямку нарізуваної різьби.

В цьому випадку умови різання справа і ліворуч будуть однакові і можна застосовувати інтенсивніші режими обробки. Але в цьому випадку прямолінійні різальні кромки різця не дають геометрично правильну форму профілю різьби в осьовому перерізі: профіль різьби виходить увігнутий.

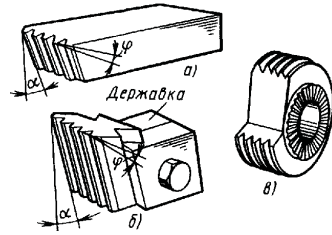


Рис. 10.1: Різці різьбові фасонні

### 10.1.1 Проектування різців

#### Призматичні різці

1. Переріз державки приймають прямокутним, квадратним або круглим залежно від типу верстата. Головним чином на параметри державки впливають: висота центрів та розмір різцетримача.

2. Задній кут  $\alpha$  приймають у межах  $12...15^\circ$ .

3. Боковий задній кут  $\alpha_\tau$  виміряний у головній січній площині

$$\operatorname{tg} \alpha_\tau = \operatorname{tg} \alpha \sin \frac{\epsilon}{2}$$

де  $\frac{\epsilon}{2}$  – це поливна кута профілю різьби (для стандартної метричної різьби  $\epsilon/2 = \alpha/2 = 30^\circ$ ).

4. Під час роботи задні бокові кути, за рахунок наявності підйому витка різьби, будуть змінюватись.

На лівій стороні різця задній боковий кут  $\alpha'_\tau$  буде

$$\alpha'_\tau = \alpha_\tau + \delta',$$

$$\operatorname{tg} \delta' = \operatorname{tg} \tau_1 \cos \frac{\epsilon}{2},$$

$$\tau_1 = \frac{P}{\pi d_1}$$

де  $\tau_1$  – кут підйому витка різьби на її внутрішньому діаметрі;

$P$  – крок різьби яку утворюють;

$d_1$  – внутрішній діаметр різьби.

Задній боковий кут  $\alpha''_\tau$  на правій стороні різця буде

$$\alpha''_\tau = \alpha_\tau - \delta'',$$

$$\operatorname{tg} \delta'' = \operatorname{tg} \tau_0 \cos \frac{\epsilon}{2},$$

$$\tau_0 = \frac{P}{\pi d_0}$$

де  $\tau_0$  – кут підйому витка різьби на її зовнішньому діаметрі;

$P$  – крок різьби яку утворюють;

$d_0$  – зовнішній діаметр різьби.

За отриманими результатами у разі необхідності корегують задні кути різьбового різця.

5. Передній кут  $\gamma$  для чорнових різців приймають залежно від матеріалу деталі рівним  $\gamma = 5 \dots 25^\circ$ .

6. У разі коли для чистового оброблення застосовують токарні різці з додатнім переднім кутом, профіль утвореної деталі буде відрізнятись від номінального. Щоб запобігти цьому різець корегують.

Дійсна глибина  $t_p$  профілю різця та кут  $\epsilon_p$  при вершині повинні дорівнювати

$$t_p = \left( \sqrt{r_0^2 - r_1^2 \sin^2 \gamma} - r_1 \cos \gamma \right) \cos (\alpha + \gamma),$$

$$\operatorname{tg} \frac{\epsilon_p}{2} = \frac{P}{2t_p}$$

де  $t_p$  – висота профілю різця в його передній поверхні (площині);

$r_0$  – зовнішній радіус різьби;

$r_1$  – внутрішній радіус різьби;

$P$  – крок різьби.

Для чистових різців передній кут  $\gamma$  приймають рівним  $\gamma = 0^\circ$ .

### Круглі різці

Для круглих різців що утворюють різьбову поверхню застосовують тіж самі математичні залежності що і для призматичного різця. Однак, задній кут у круглих різців отримують не заточкою інструменту, а тим що встановлюють його вище осі деталі на величину  $H$  яку розраховують за формулою

$$H = \frac{D}{2} |\sin \alpha| = R \sin \alpha$$

де  $D$  – найбільший зовнішній діаметр різця;

$R$  – найбільший зовнішній радіус різця;

$\alpha$  – задній кут різця, зазвичай  $\alpha = 10 \dots 12^\circ$

Висота профілю  $t_p$  круглого різця в його радіальному перерізі становить

$$t_p = R - \sqrt{R^2 + a^2 - 2Ra \cos (\alpha + \gamma)}$$

$$a = \sqrt{r_0^2 - r_1^2 \sin^2 \gamma} - r_1 \cos \gamma$$

де  $r_0$  – радіус зовнішнього діаметр різьби;

$r_1$  – радіус внутрішнього діаметр різьби.

В теперішній час різьбові різі застосовують тільки в одиничному виробництві.



## 10.2 Мітчики

### Призначення мітчиків

Мітчики призначені для утворення внутрішньої різьби в наскрізних або глухих отворах. Утворення різьби (нарізування) мітчиками є основним способом виготовлення внутрішніх різьб, особливо при обробленні отворів малих і середніх діаметрів. Різьбоутворення мітчиками може виконуватись як ручним так і машинним способами.

### Конструкція мітчика

Формування різьб мітчиком виконується у декілька етапів. Спочатку різьбу утворюють чорновим мітчиком (першим), а потім чистовим (другим). Вони відрізняються формою забірного конуса і діаметральними розмірами (рис.10.2).

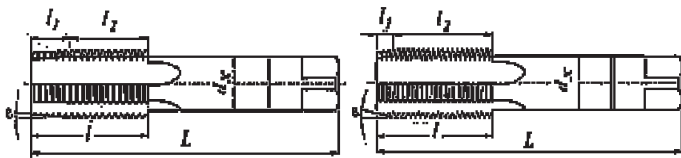


Рис. 10.2: Комплект ручних мітчиків

Перший мітчик має довший забірний конус  $l_1$  (4...6 витків різьби). Другий мітчик має забірний конус завдовжки 2...3 витка різьби. Такі мітчики завжди йдуть одним комплектом. Довжина робочої частини  $l$  для обох мітчиків однакова. Отже, другий мітчик має довшу калібруючу частину  $l_2$ . Загальна довжина  $L$  обох інструментів також однакова.

Перший мітчик має на своєму хвостовику одну риску, другий – дві. Іноді застосовують комплект мітчиків з трьох штук: чорновий – напівчистовий – чистовий.

На рис.10.2 зображений стандартний комплект з двох мітчиків – чорнового і чистового. На рисунку зображено:

- $l$  – робоча частина мітчика, яка здійснює формування різьбової поверхні в оброблюваному отворі;
- $l_1$  – забірна (різальна) частина, яка видаляє припуск формуючи гвинтову поверхню різьби;

- $l_2$  – направляюча (калібруюча) частина, вона тільки на-  
правляє мітчик в обробленому отворі. Остаточне  
формування поверхні різьби здійснює останній зу-  
бець забірної частини;
- $L$  – загальна довжина мітчика;
- $d_x$  – діаметр хвостовика, який завжди менше внутрі-  
шнього діаметру різьбового отвору;
- $\varphi$  – кут забірного конуса, залежить від номера мітчика  
(перший або другий).

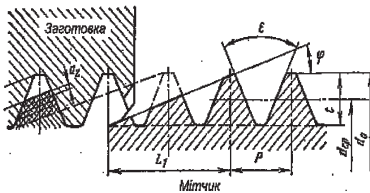
Для вільного проходу мітчика через наскрізний отвір деталі, а також для нарізування різьби в отворах завглибшки більшою, ніж довжина робочої частини, діаметр хвостовика мітчика має бути менше вну-  
трішнього діаметру різьби приблизно на 0,25...1,5 мм. У мітчиків, менших МЗ, з метою зменшення поломок, діаметр хвостовика вико-  
нують рівним або більшим зовнішнього діаметру робочої частини.

### Матеріал мітчика

Для виготовлення мітчиків застосовують інструментальні сталі типу Р6М5. Мітчики розмірів М10 і менш виконують цілісними. Великі мітчики (більше М10) роблять зварними з хвостовиком із сталі 40Х.

#### 10.2.1 Зрізання припуску

Різальна частина мітчиків формує профіль різьби за генератор-  
ною схе-мою, тобто поступово окремими частинами. Формування  
різьбового профілю за генераторною схемою наведено на рис.10.3 на  
якому:



- $P$  – крок різьби;
- $\varphi$  – кут забірного конуса;
- $d_0$  – внутрішній діаметр різьбо-  
вого отвору;
- $l_1$  – довжина забірної частини;
- $t$  – висота різьби.

Рис. 10.3: Формування різьбового  
профілю

Кожен різальний профіль зубця мітчика зрізує стружку певного перерізу та однакової товщини  $a_z$ . Профіль різбової западини утворюється в результаті послідовного підсумовування роботи допоміжних кромek різальних профілів, тобто за генераторною схемою.

Забірна частина мітчика представляє гвинтову поверхню що є зрізаною під кутом  $\varphi$  забірного конуса. При своєму гвинтовому русі кожен наступний зубець мітчика зрізує частину припуску завтовшки  $a_z$ .

Перший та другий мітчики відрізняються між собою розмірами профілю різальних кромek та схемою видалення припуску яка наведена на рис.10.4.

Особливістю є те, що чорновий мітчик зрізує припуск за генераторною схемою, а чистовий (другий) - за профільною (кожен зріз повторює профіль готової різьби).

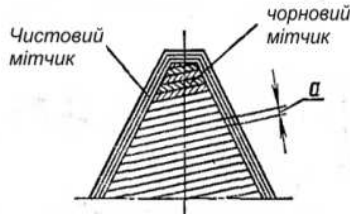


Рис. 10.4: Розподіл припуску між мітчиками

## 10.2.2 Геометричні параметри мітчика

### Передній кут мітчиків

Профіль стружкової канавки мітчика має бути обкresлений плавними лініями для забезпечення безперешкодного сходу стружки є у канавці (рис.10.5).

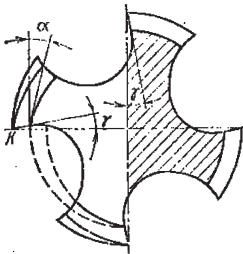


Рис. 10.5: Геометрія мітчика

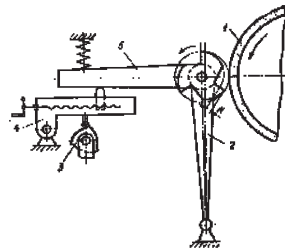


Рис. 10.6: Затилювання мітчика

Це досягається заточкою і доведенням передньої поверхні та стружкової канавки, при цьому необхідно забезпечити потрібне значення переднього кута  $\gamma$  на ділянці, що перевищує висоту різьбового профілю інструменту.

Рекомендовані значення передніх кутів, залежно від оброблюваного матеріалу, рекомендовано наступні: для сталей  $8...10^\circ$ , для кольорових металів  $12...15^\circ$ , для чавунів  $0...5^\circ$ .

### Задній кут мітчиків

Задня поверхня утворюється при затилуванні різальної частини і має конус, вісь якого не співпадає з віссю мітчика. Таким чином, кожне лезо мітчика заточують по своїй конічній поверхні. Затилування мітчиків здійснюється в радіальному напрямі.

Схема пристрою для затилування мітчиків наведена на рис.10.6. Круг має конічну поверхню, яка формує забірний конус мітчика. Саме пристосування має такі елементи:

- 1 – шліфувальний круг;
- 2 – каретка яка здійснює коливальні рухи;
- 3 – кулачок, від нього залежить задній кут мітчика;
- 4 – кронштейн із змінним плечем (для настроювання);
- 5 – важіль що коливає мітчик.

На рис.10.7 наведені геометричні параметри для калібруючої 1 та забірної 2 частин мітчика. Задній кут на каліруючій частині дорівнює нулю, а на забірній  $3...5^\circ$ . Однак на кресленні вказують не величину заднього кута  $\alpha$ , а величину затилування  $K$ , яку розраховують за формулою

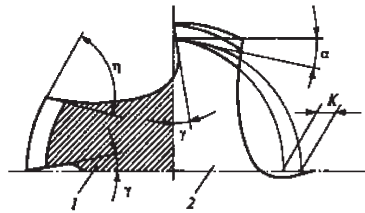


Рис. 10.7: Геометрія затилування

$$K = \frac{2\pi r}{Z} \operatorname{tg} \alpha$$

- де  $r$  – радіус мітчика, мм;  
 $Z$  – кількість зубів мітчика;  
 $\alpha$  – задній кут на забірній частині мітчика.

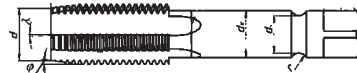


Рис. 10.8: Мітчик машинний

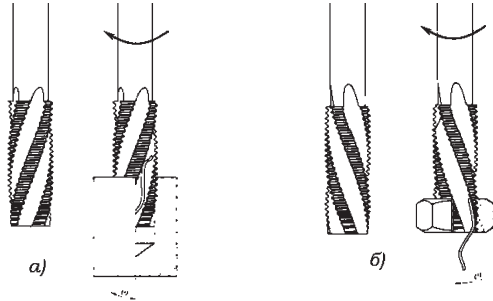


Рис. 10.9: Видалення стружки

### 10.2.3 Мітчики машинні

Машинні мітчики можуть мати прямі або гвинтові стружкові канавки, що проходять через робочу частину. Найбільше поширення мають машинні мітчики з прямими стружковими канавками. Зовні вони відрізняються від ручних мітчиків коротшою забірною частиною  $l_1$  та наявністю, на хвостовій частині, кільцевої канавки радіусу  $r$  (рис.10.8).

Машинні мітчики з гвинтовими стружковими канавками під кутом  $\omega$  (рис.10.9) застосовують для управління напрямком відведення стружки з отвору.

Мітчики з правою гвинтовою стружковою канавкою направляють

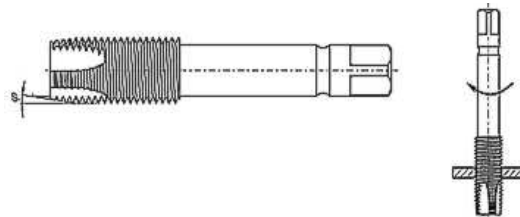


Рис. 10.10: Мітчик з укороченою стружковою канавкою

стружку убік, протилежний до осьового переміщення інструменту вздовж осі, тобто виводять стружку з отвору (рис.10.9,а). Тому такі мітчики переважно використовуються при утворення різьби в глухих отворах.

Мітчики з лівою гвинтовою стружковою канавкою направляють стружку убік, співпадаючий з осьовим переміщенням інструмента, і використовуються для нарізування різьби в наскрізних отворах (рис.10.9,б).

Мітчики з гвинтовими стружковими канавками використовуються також для нарізування різьби в отворах з переривчастою поверхнею.

Мітчики з укороченими канавками (рис.10.10) мають добре базування та надійне центрування в отворі заготовки. Їх застосовують для нарізування різьби в наскрізних отворах тонкостінних деталей.

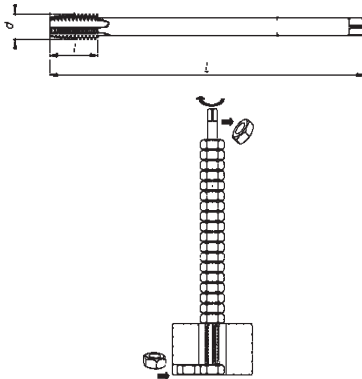


Рис. 10.11: Гайковий прямий мітчик

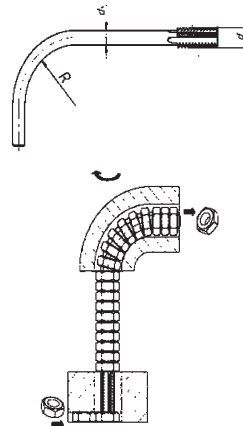


Рис. 10.12: Гайковий вигнутий мітчик

Гайкові мітчики призначені для нарізування різьби в заготовках гайок. Вони бувають прямі (рис.10.11) та вигнуті (рис.10.12). Гайкові мітчики працюють безперервно до заповнення хвостовика готовими гайками, далі гайки віддаляються.

### 10.2.4 Проектування мітчиків

1. Діаметр  $d_2$  мітчика на передньому торці (діаметр з якого починається заборний конус) виконують меншим за внутрішній діаметр різьби на величину  $\Delta d$

номінальний діаметр різьби, мм	$\Delta d$ , мм
до 18	0,1...0,15
20...39	0,2...0,25
42...52	0,3...0,35

2. Довжина  $l_1$  заборної частини мітчика

$$l_1 = \frac{t_2}{\sigma z}$$

де  $t_2$  – висота зубця різьби. Іншими словами це висота різьби яку утворює мітчик;

$z$  – кількість лез мітчика;

$\sigma$  – коефіцієнт який залежить від діаметру мітчика

діаметр мітчика, мм	$\sigma$ , мм
2...9	0,012...0,018
10...30	0,015...0,020
30...52	0,013...0,016

3. Кількість робочих лез мітчика залежить від його діаметру

діаметр мітчика, мм	до 16	16...42	45...52
кількість лез	3	4	6

4. Ширина  $f$  леза (пера) мітчика залежить від кількості  $z$  зубців

$z$	3	4	6
$f$ , мм	$0,39d_0$	$0,27d_0$	$0,18d_0$

5. Передній кут  $\gamma$  залежить від матеріалу заготовки

Матеріал заготовки	Кут $\gamma^\circ$
м'яка сталь	12...15
конструкційна сталь	8...10
тверда сталь	4...6,5
бронза, чавун	0...5
латунь	8...12
алюміній	20...30

6. Задній кут  $\alpha$  залежить від типу мітчика

Тип мітчика	Задній кут $\alpha^\circ$
ручний	6...8
машинний	10...12
калібрувальний	3...4

7. Діаметри різьбової частини мітчика.

Розрахункові діаметри чистового мітчика:

$d_0$  – найбільший зовнішній діаметр різьби;

$d_{\text{ср}}$  – середній діаметр різьби;

$d_1$  – внутрішній діаметр різьби;

$P$  – номінальний крок різьби.

Розрахунок діаметрів чорнового мітчика в комплекті з двох мітчиків виконують за формулами:

– зовнішній діаметр  $d'_0 = d_0 - 0,25P$ ,

– середній діаметр  $d'_{\text{ср}} = d_{\text{ср}} - 0,07\sqrt{S}$ ,

– внутрішній діаметр  $d'_1 = d_1 - 0,1\sqrt{S}$ .

## 10.3 Плашки

### Призначення і типи

Різьбонарізна плашка - це гайка (рис.10.13), перетворена на різальний інструмент шляхом свердління стружкових отворів і формування на різальних зуба, передніх і задніх кутів (рис.10.14). Круглі плашки призначаються для нарізування зовнішньої різьби діаметром  $d = 1...60$  мм, а також для калібрування різьби, заздалегідь нарізаної іншими інструментами (наприклад, різцем), на заготовках із сталей, кольорових сплавів, пластмас і т.д. Різьбоутворення плашками здійснюється вручну чи на токарних верстатах, багатошпіндельних токарних автоматах і напівавтоматах, револьверних верстатах і на іншому устаткуванні.

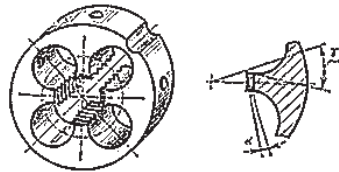


Рис. 10.13: Плашка



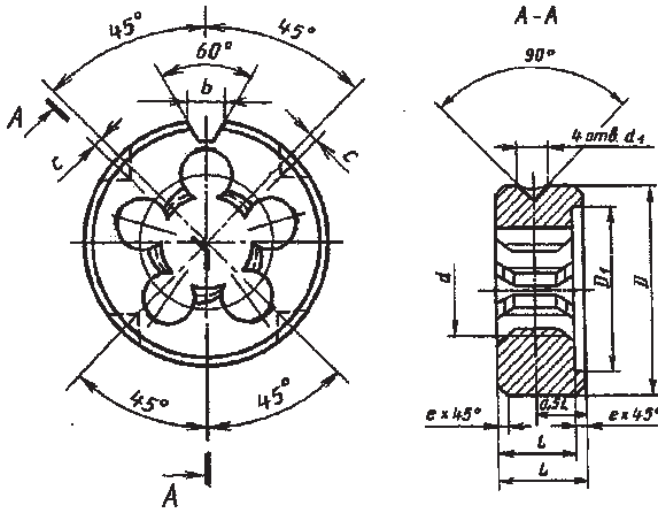


Рис. 10.14: Плашка круга

Різьба нарізується за один прохід з реверсуванням, яке потрібне для згинчення плашки із заготовки. Інструментальною промисловістю випускається декілька типів круглих плашок.

Нарізування різьби плашками із-за невисокого їх періоду стійкості проводиться при швидкості від 2 до 4 м/хв, тому цей процес являється малопродуктивним. Плашки не шліфують за профілем різьби, і похибки елементів різьбового профілю, що виникли при термообробці зберігаються. Отже, плашками можна нарізувати різьби не високої точності.

### Конструктивні і геометричні параметри

Кругла плашка складається з наступних частин:

- різальна частина, яка формує профіль нарізуваної різьби. На круглих плашках виконуються дві різальні частини (два заборних конуси), що дозволяє використовувати інструмент з будь-якого боку;
- калібруюча частина служить для центрування, напряму і са-

- моподачі плашки;
- елементи базування, кріплення і регулювання плашки на розмір.

Базування плашки здійснюється по одній з торцевих поверхонь. Для закріплення інструменту в плашкотримачі на зовнішній циліндричній поверхні виготовляються конічні отвори (поглиблення). Деякі отвори використовуються тільки для закріплення, інші виконують додаткову функцію – регулювання плашки на розмір після розрізання перемички. Плашка має такі основні конструктивно-геометричні елементи:

- $D_{\text{п}}$  – зовнішній діаметр плашки;
- $D$  – зовнішній діаметр різьби;
- $D_2$  – середній діаметр різьби;
- $D_1$  – внутрішній діаметр різьби;
- $\varphi$  – кут заборного конусу;
- $H$  – товщина плашки;
- $z$  – кількість різальних елементів (різальних лез);
- $d_c$  – діаметр стружкового отвору;
- $d_{\text{ц}}$  – діаметр кола яке визначає положення центрів стружкових отворів;
- $m$  – ширина пера (ширина різьбової частини різального леза);
- $c$  – ексцентриситет конічних отворів для регулювання різьби;
- $\gamma$  – передній кут при вершині зубу;
- $\alpha$  – задній кут на різальній частині;
- $K$  – падіння затилку (величина затилювання);

Розглянемо окремо перелічені параметри круглої стандартної плашки.

### **Зовнішній діаметр плашок**

Зовнішній діаметр плашок  $D_{\text{п}}$  залежить від розміру нарізуваної різьби, діаметру стружкових отворів  $d_c$  і інших конструктивних елементів плашок. Зі збільшенням діаметру стружкових отворів покращуються умови відведення і розміщення стружки, зменшується небезпека поломки зубів.

Одночасно збільшується зовнішній діаметр плашки  $D_{\text{п}}$  і зменшується ширина різального елемента –  $m$ . Це спричиняє за собою

збільшення викривлення різбових поверхонь плашки при термообробці, підвищена витрата матеріалів як на виготовлення плашок, так і плашкотримачів, патронів і т. д.

При призначенні зовнішнього діаметру  $D_n$  необхідно прагнути до того щоб плашками з однаковим  $D_n$  можна було нарізувати різби декількох діаметрів. Це сприяє скороченню типорозмірів плашкотримачів і технологічного оснащення для виготовлення плашок.

Рекомендовані значення зовнішніх діаметрів  $D_n$  круглих плашок для різних діаметрів різби такі:

$D$ різби, мм	1...5	5...6	7...9	10...11	12...14	16...20
$D_n$ , мм	16	20	25	30	38	45

Номінальний зовнішній розмір різби плашки дорівнює номінальному діаметру різби  $D = d$ .

Номінальний середній діаметр різби плашки дорівнює

$$D_2 = D - 0,6495P.$$

Номінальний внутрішній діаметр різби плашки дорівнює

$$D_1 = D - 0,0825P.$$

## Різальна частина

Різальна частина плашок формує профіль різби по одинарній генераторній схемі різання. Кожен різальний зуб зрізує стружку різною шириною і однакової товщини  $a_z$ , як і при утворенні різби мітчиками.

Товщина зрізуваної стружки визначається по формулі  $a_z = P/z \sin \varphi$

Кут заборного конусу  $\varphi$  при прийнятих кроках різби і кількості лез  $Z$  визначає товщину стружки.

В цілях скорочення номенклатури нормалізованого інструменту, що випускається, встановлено значення кута  $\varphi = 25^\circ$ .

У тих випадках, коли збіг різби не лімітований, при виборі значень кута  $\varphi$  виходять з підвищення періоду стійкості і надійності напрямку плашки, що можливо при зменшенні кута  $\varphi$  в порівнянні із стандартним.

Так, для різьб з кроком  $P = 2...3$  мм кут  $\varphi = 20^\circ$ , для різьб з кроком  $P > 3$  мм кут  $\varphi$  приймається рівним  $15^\circ$ . При обробці в'язких і твердих матеріалів значень кута  $\varphi$  набувають до  $20^\circ$

Для забезпечення напряму плашки при заході на заготовлю, діаметр конуса на торці плашки  $D_T$  має бути більше зовнішнього діаметру  $d$  нарізаної різьби на  $2\Delta t = 0,1...0,5$  мм

$$D_T = (d + 2\Delta t).$$

Взаємозв'язок довжини різальної частини  $l_p$  і кута  $\varphi$  визначається по формулі

$$l_p = \frac{(D_T - D_1)}{2 \operatorname{tg} \varphi}$$

де  $D_1$  – внутрішній діаметр різьби плашки.

Ширина  $m$  пера (леза) може бути розрахована за формулою

$$m = 0,4 \frac{\pi d_1}{z}$$

де  $d_1$  – внутрішній діаметр різьби;

$z$  – кількість лез плашки.

Ширина  $f_1$  зазору (щілини) між зубцями плашки повинна бути

$$f_1 = (0,85 \dots 1,0) m.$$

### Калібруюча частина плашок

Формування різбового профілю закінчується при вступі в роботу перших зубів калібруючої частини, що можна назвати «калібруванням» різьби. Інші калібруючі зуби виконують функції центрування і подачі інструменту. Для виконання цих функцій досить мати калібруючу частину з трьох-чотирьох ниток. Збільшення довжини калібруючої частини призводить до зростання деформації лева плашки при термообробці, через що зменшується точність різьби, одночасно погіршуються умови відведення стружки.

Виходячи з умов термообробки і враховуючи основний спосіб переточування плашок (по передній поверхні), довжину калібруючої частини приймають рівною

$$l_{\text{кал}} = (4...5)P$$

Загальна довжина робочої частини плашки визначається як сума двох заборних конусів та калібруючої частин.

### Товщина плашки

Товщина плашки  $H$ , як і зовнішній діаметр  $D_n$ , уніфікована з метою скорочення кількості розмірів заготівель для виготовлення плашок, а також патронів і плашкотримачів.

Товщина плашки вибирається з умови розміщення достатнього кількості ниток на різальній і калібруючій частинах. З цієї точки зору досить прийняти товщину плашки рівною  $(6...9)P$ , що зазвичай витримується для різьб з великим кроком. В цьому випадку довжина робочої частини приймається рівною найближчому стандартному значенню  $H$ .

Виходячи з конструктивних міркувань можливо прийняти таку товщину плашки

$$\begin{array}{ll} (0,15...0,12)D & \text{при } z = 3...5 \\ (0,09...0,10)D & \text{при } z = 6...8 \end{array}$$

Для різьб з дрібними кроками з урахуванням уніфікації розміру  $H$  допускається збільшення довжини робочої частини до  $(9...14)P$ .

### Стружкові отвори

Стружкові отвори круглих плашок є важливими конструктивним елементом. Їх діаметр  $d_c$ , діаметр кола  $d_{\text{ц}}$  на якому розташовані осі отворів, і кількість лез -  $z$  визначають ряд важливих конструктивних параметрів плашки, а саме: передній кут  $\gamma$  та ширину різального леза  $m$ .

Радіус  $r_o$  стружкових отворів приймають рівним

$$r_o = \frac{r_1 \sin \omega}{\sin (\delta - \omega)}$$

де  $r_1$  – внутрішній радіус різьби;  
 $\omega$  – половина кута стружкової канавки на внутрішньому радіусі плашки;

$\delta$  – дорівнює  $90^\circ - \gamma^\circ$

Радіус  $R$  кола на якому розташовані стружкові отвори

$$R = r_1 [\cos \omega + \sin \omega \operatorname{ctg} (\delta - \omega)].$$

## 10.4 Різьбонарізні фрези

Для нарізування різьб застосовують такі типи фрез:

- дискові фасонні фрези;
- і гребінчасті різьбонарізні фрези.

Дисковими різьбовими фасонними фрезами (рис.10.15) нарізують різьби (в основному трапецеїдальні) на ходових гвинтах і черв'яках. Фрезерування застосовують тільки в якості попереднього нарізування різьби. Дискові фрези можуть бути з симетричним і несиметричним профілем.

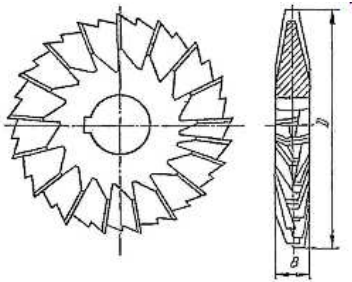


Рис. 10.15: Фреза різьбова  
дискова

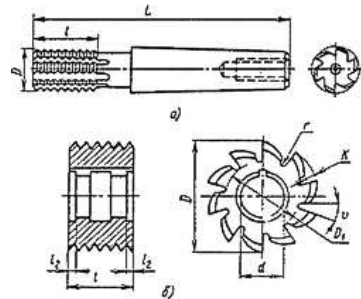


Рис. 10.16: Фрези різьбові  
гребінчасті

Оскільки поверхня різьби – є Архимедова гвинтова поверхня з прямолінійним профілем в осьовій площині, то профіль різальних кромки фрези, що встановлюється нормально до напрямку нарізки, має бути криволінійним.

У той же час фрезерування зазвичай використовують для чорнової обробки різьби, то різальні кромки виконують прямолінійними але кут профілю зуба фрези коригують.

Дискові різьбові фрези виконуються з острозаточеними зубами: вище стійкість і продуктивність в порівнянні із затіланими.

Гребінчасті фрези (рис.10.16) застосовують для фрезерування гострокутних різьб невеликої довжини. Різьбові гребінчасті фрези мають кільцеву нарізку і затілені зуби. Можуть бути насадними (рис.10.16,б) і кінцевими (рис.10.16,а). Стружкові канавки у гребінчастих фрез зазвичай прямі. Довжина фрези має бути більше довжини нарізваної різьби на 2...3 кроки.

**Зауваження.** Гребінчасті фрези утворюють гвинтову поверну. Однак їхні зубці – не гвинтові, а просто кільцеві. Через це утворений профіль різьби не є правильний. Він має дещо вогнутий профіль, тому фрезерування застосовують тільки для невідповідальних деталей.

## 10.5 Різьбоканатні інструменти

При накоєнні різьб процес її формування відбувається за рахунок пластичної деформації поверхневих шарів. Переваги накоєння різьб:

- різьблення міцніше;
- економія металу;
- висока продуктивність.

Найбільш поширені способи накоєння різьблення :

- плоскими накатними плашками (рис.10.17,а);
- накатними роликами (рис.10.17,б...ж).

Принцип дії накатних інструментів зображених на рис.10.17 такий:

- а) – заготовку прокочують між двома плоскими різьбовими дошками;
- б) – заготовка обертається між роликами, які мають виріз у своєму профілі. В цей виріз закладають наступну заготовку;
- в) – заготовки прокочують між роликом та сектором. Зазор між ними має клиноподібну форму;
- г) – внутрішній вал і зовнішнє кільце встановлені з ексцентриситетом. Тому зазор справа (на початку) більший ніж зазор зліва (на виході деталі);
- д) – різновиди прокачування заготовки;

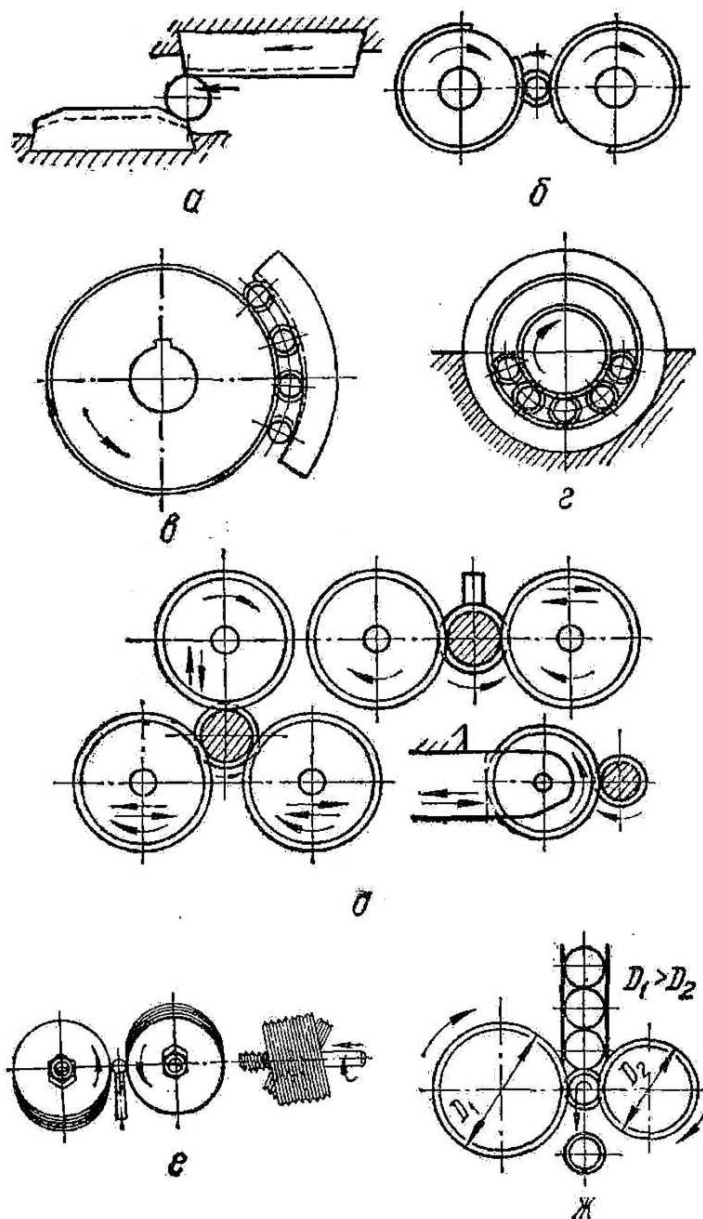


Рис. 10.17: Накатка різьби



- є) – ролики розташовані “в перехрест” тому заготовку зтягую між ними. Можлива обробка заготовки нескінченної довжини;
- ж) – варіант верстату-автомату. Заготовки безперервно подаються між двома роликами. Через те що їхні діаметри різні – заготовка випадає донизу.

### Накатні плашки

При накочуванні плоскими накатними плашками (рис.10.18) одна з них кріпиться нерухомо у верстаті, а інша здійснює поворотно-зсувний рух відносно нерухомої. На заготовці, що поміщається між ними, формується різьба в результаті прокатування.

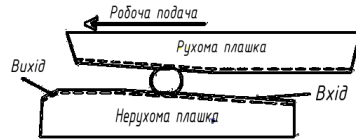


Рис. 10.18: Накатна плашка

На плашці є забірня, калібруюча і вихідна частини. Забірня частина служить для формування різьби, від довжини забірної частини залежить міра деформації. Часто забірну частину виконують тільки на нерухомій плашці. Довжина, висота і ширина плашки розраховується залежно від параметрів нарізаної різьби, матеріалу деталей і особливостей експлуатації плашок.

### Накатні ролики

Накочування різьби роликами робиться на спеціальних накатних верстатах. Ролики обертаються в один бік, один з них (рухливий) переміщується до центру накочуваної різьби (рис.10.19). Заготовка поміщається між роликами на упорі так, щоб вісь її була розташована на 0,1...0,2 мм нижче осі роликів. Накочування роликами забезпечує точнішу різьбу.

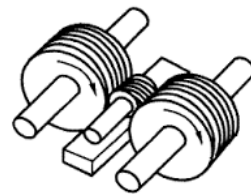


Рис. 10.19: Накатні ролики

Діаметри роликів звичайні більше діаметрів накочуваної різьби. Основні параметри ролика визначаю-

ться залежно від умов його роботи : діаметр – по габаритах верстата, ширина – по довжині накочуваної різьби.

Напрям різьби ролика протилежний до напрямку різьби деталі. При розрахунку середнього діаметру роликів необхідно враховувати запас на переточування, яке здійснюється шліфуванням профілю різьби ролика.

## 10.6 Контрольні питання

1. Дати визначення елементів режиму різання при нарізуванні різьблення.
2. Дати визначення кутів мітчика.
3. Які елементи знаходяться на робочій частині мітчика?
4. За якими ознаками класифікуються мітчики?
5. За рахунок чого утворюється затилування забірної частини?
6. Який параметр регламентує величину заднього кута забірного конуса мітчика?
7. Чому дорівнює задній кут на калібруючій частині мітчика?
8. Чому дорівнює передній кут на калібруючій частині мітчика?
9. Який зубець мітчика здійснює остаточне формування профілю різьблення?
10. По яких поверхнях переточують мітчик?

## Література

- [1] Бобров В.Ф. Многопроходное нарезание крепежных резьб резцом. - М.: Машиностроение, 1982. - 104 с.
- [2] Миронов И.Я., Кузнецов В.П., Анпилогов О.А. Технологическое обеспечение и расчет при нарезании резьб на токарных многшпиндельных автоматах. - М.: ЦНИИНТИКП, 1989. - 87 с.
- [3] Резьбообразующий инструмент / Под общ. ред. М.З. Хостикова. - Пенза: Пензенский технологический институт, 1999. -405 с.
- [4] Справочник конструктора-инструментальщика / Под общ. ред. В.И. Баранникова. - М.: Машиностроение, 1984. - 558 с.

Те, що ми знаємо – обмежено, а  
що не знаємо – нескінченно.

*Апулей*

## 11 Фрези

### 11.1 Класифікація

Фрези – це багатолезові інструменти, призначені для оброблення плоских і фасонних поверхонь, уступів, пазів, канавок, гвинтових поверхонь і інших подібних об'єктів [1, 3].

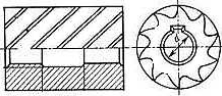
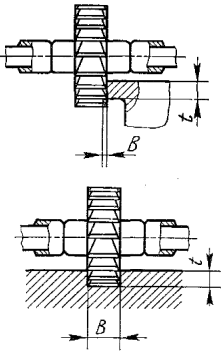
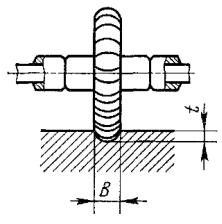
Фрези відрізняються різноманітністю типів, форм і призначення як стандартизованих, так і спеціальних, призначених для оброблення конкретних виробів (табл.11.1).

Класифікація фрез здійснюється таким чином:

- по розташуванню зубів відносно осі:
  - циліндричні, різальні кромки на циліндричній поверхні;
  - торцеві, різальні кромки на торцевій поверхні
  - кутові, різальні кромки під кутом до осі фрези
  - фасонні, різальні кромки є фасонні
  - дискові, такі ж що і циліндричні, але тонкі
  - кінцеві (пальцеві),
  - шпонкові, для утворення шпонкових пазів
- по напрямку зубів
  - з прямими зубами - паралельними до осі фрези
  - з косими зубами -
  - з гвинтовим зубом - різальна кромка є гвинтовою лінією
- по конструкції
  - цільні,
  - складені,
  - збірні,
  - набірні
- по способу утворення задньої поверхні зубу
  - гострозаточені,
  - затиловані;
- по способу кріплення:

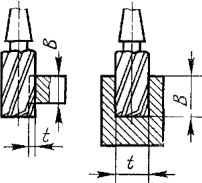
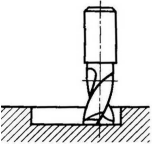
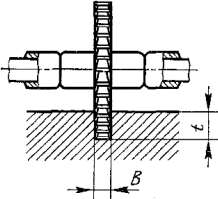
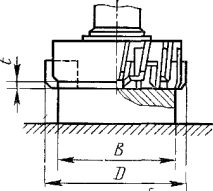
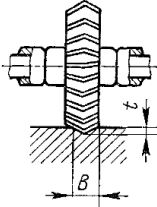
- насадні - з отвором для кріплення,
- кінцеві - з конічним або циліндричним хвостовиком.

Табл. 11.1: Типи стандартних фрез

Тип фрези	Призначення
	<p><b>Циліндрична.</b> Фреза призначена для оброблення плоских поверхонь відносно великої ширини. Її застосовують на горизонтально-фрезерних верстатах. Історично, це одна з найперших конструкцій. В теперішній час практично не має застосування, так як її витіснили фрези торцевої конструкції.</p> <p>Недоліки.</p> <p>Під час роботи, внаслідок значної довжини активної різальної кромки, утворюється довга стружка і тонка стружка.</p>
	<p><b>Дискова.</b> По суті це та-сама циліндрична фреза, але коротша. Її застосовують у двох випадках.</p> <p>Перший – це оброблення бокових сторін деталі.</p> <p>Другий – це прорізання пазів або канавок.</p>
	<p><b>Дискова фасонна.</b> Це один із найпоширеніших типів фрезерного інструменту. Залежно від профілю різальних кромek дискову фасонну фрезу застосовують для виготовлення будь-яких фасонних поверхонь. В тому числі і для формоутворення гвинтових поверхонь.</p> <p>В інструментальному виробництві такі фрези застосовують при утворенні стружкових канавок.</p>

Продовження на наступній сторінці

Продовження табл.11.1

Тип фрези	Призначення
	<p><b>Кінцева.</b> Інколи називають пальцевою. Застосовують для оброблення бокових поверхонь, уступів. Але найчастіше – для утворення канавок закритого типу або криволінійних. У теперішній час витісняють дискові при обробленні пазів або уступів.</p>
	<p><b>Шпонкова.</b> . Різновидом кінцевої фрези є шпонкова фреза призначена для утворення стандартних пазів під шпонку.</p>
	<p><b>Дискова відрізна.</b> Застосовують при утворенні дуже вузьких канавок та для відрізання частини заготовки від прутика. Через це має назву – відрізна. Зовнішній діаметр може становити від 20 мм до 1,5 метри.</p>
	<p><b>Торцева.</b> Активні ділянки різальних елементів розташовані на торцевій частині інструменту. Зрізує припуск не боковою стороною, а саме торцем. Застосовують для оброблення площин. Якщо ширина площини більша ніж діаметр фрези, то оброблення виконують у декілька проходів. У теперішній час практично повністю витіснила циліндричні фрези при обробленні площин.</p>
	<p><b>Кутова.</b> Практично це дискова фасонна фреза. Виділена у окремий тип тільки через те, що її фасонний (кутовий) профіль стандартизовано. Застосовують при утворенні зубців та канавок, які здебільшого мають стандартний профіль. В іншому аналогічна звичайним дисковим фрезам.</p>
Кінець таблиці	

## 11.2 Конструктивні та геометричні параметри

До загальних конструктивних елементів фрез відносяться [4]:

- діаметр фрези;
- посадкові розміри (діаметр отвору, паз шпони);
- число зубів;
- і їх форма.

**Зовнішні** діаметри  $D_{\phi}$  фрез стандартизовані, їх ряди представляють геометричну прогресію зі знаменником  $\varphi = 1,26$  або  $\varphi = 1,58$ . Так для  $\varphi = 1,26$  маємо такий ряд діаметрів: 3; 4; 6; 8; 10; 12; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200 мм.

**Діаметр**  $d_o$  посадкового отвору залежить від зовнішнього діаметру фрези і дорівнює  $d_o = D_{\phi}/2,25$  мм, який округляється до стандартних значень: 16; 22; 27; 32; 40; 50 і 60 мм.

**Геометричні** параметри фрези залежать від її призначення і конструкції. Так для оброблення сталі і чавуну задній кут  $\alpha$  приймають у межах  $\alpha = 10...12^\circ$ . Передній кут  $\gamma$  приймають залежно від властивостей оброблюваного матеріалу. При обробленні сталі і чавуну  $\gamma = 10...20^\circ$ .

**Кількість** зубів  $Z$  фрези приймається з умов рівномірності фрезерування. Можна скористатися формулою:

$$Z = m\sqrt{D_{\phi}}$$

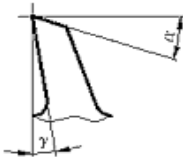
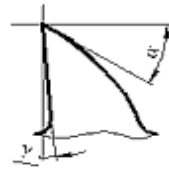
де  $m = 1,75...2,00$  – для чорнових фрез;

$m = 2,2...2,5$  – для чистових фрез.

Для забезпечення рівномірності фрезерування застосовують гвинтові зуби з кутом нахилу  $\omega$ , який визначається з умов рівномірності фрезерування і знаходиться в межах  $20...40^\circ$ . Зуби фрези повинні мати достатню міцність, забезпечувати максимально можливе число переточувань, мати простір для розміщення стружки. Оптимальну форму зуба можна вибрати по наявних рекомендаціях [5, 6].

Фрези усіх типів можуть бути цільними або збірними. Збірні конструкції фрез забезпечують економію швидкорізальної сталі, дозволяють багаторазово використовувати корпус фрези, до якого кріпляться зуби-ножі. Варіантів конструктивного оформлення кріплень багато. Найбільш поширені – клинові і рифлені.

Для фрез будь-якого типу застосовують три форми [4] профілю різального зуба.

Рис. 11.1: Простий  
зубРис. 11.2: Посилений  
зубРис. 11.3: Зміцнений  
зуб

**Простий** зуб рис.11.1. Це найпростіша форма зубу. Задня поверхня виконана як дві площини. Позитивним є те що він простий у виготовленні. Недоліком є те що він занадто тонкий у своїй основі і через це при виникненні значних навантажень такі зубці часто ламаються. Застосовують у простого інструменту.

**Посилений** зуб рис.11.2 має посилену (товстішу) нижню частину. Він витримує більші навантаження, але складніший у виготовленні. Зуб такої форми застосовують у високопродуктивних фрез, які працюють з високими навантаженнями. Здебільшого це фрези для чорнового оброблення.

**Зміцнений** зуб рис.11.3 вперше було застосовано в Америці тому іноді його називають “американським”. Відмінність цього зубу в тому що задня поверхня криволінійна – вона повторює рівноміцну балку. Зуб такої форми має найбільшу міцність, але досить дорогий у виготовленні.

Твердосплавні фрези застосовуються досить широко. Вони можуть бути цілісними (невеликих розмірів) але в основному - складеними і збірними. Велике поширення отримали збірні твердосплавні фрези, оснащені багатогранними пластинами.

## 11.3 Призначення фрез

### Циліндричні фрези

Особливістю конструкцій циліндричних фрез є розташування головних різальних кромок на циліндрі, вісь якого співпадає з віссю обертання інструменту, паралельній оброблюваній поверхні (рис.11.4). У циліндричних фрез немає допоміжних різальних кромок, і вони працюють в умовах вільного різання.

Для зниження коливань сил різання і вібрацій зуби циліндричних фрез часто роблять гвинтовими. При цьому виникає небажана осьова складова сили різання. Проте умови відведення стружки із зони різання фрез з гвинтовими зубами значно краще, ніж фрез з прямими зубами.

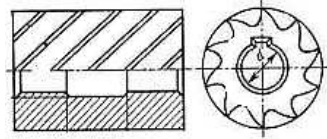


Рис. 11.4: Фреза циліндрична цільна

Циліндричні фрези з великим зубом призначені для зняття великих припусків і особливо ефективні при обробці площин великої площі. З метою економії швидкорізальної сталі фрези великих діаметрів роблять збірними зі вставними різальними зубами, а корпуси фрез виготовляють з конструкційної сталі.

### Торцеві фрези

У торцевих фрез (рис.11.5) вісь обертання розташована перпендикулярно до оброблюваної поверхні. При цьому, окрім головних різальних кромки, що знаходяться на циліндричній поверхні, на торці фрези є допоміжні різальні кромки.

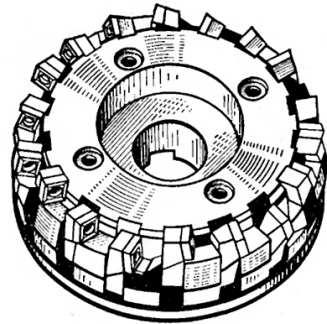


Рис. 11.5: Фреза торцева

Торцеві фрези, як правило, виготовляють насадними. Вони широко використовують при обробленні плоских поверхонь, у тому числі ступінчастих, які неможливо обробити циліндричними фрезами.

Торцеві фрези мають наступні переваги:

- конструкція торцевих фрез дозволяє розмістити більше число зубців на довжині контакту із заготовкою, що забезпечує велику продуктивність і більше рівномірне фрезерування;
- торцеві фрези можна виготовляти з жорсткими, масивними корпусами, з надійним механічним кріпленням різальних елементів;
- при фрезеруванні площин можна отримувати нижчу шорсткість



за рахунок великого числа допоміжних різальних кромок на торці фрези і за наявності зачисних зубців.

Завдяки цим перевагам торцеві фрези в порівнянні з циліндричними знайшли найбільше застосування в металообробній промисловості.

### Дискові фрези

На відміну від циліндричних дискові фрези (рис.11.6) призначені для оброблення вузьких поверхонь і мають багато різновидів:

- звичайні дискові фрези;
- кутові дискові фрези;
- фасонні дискові фрези.

Дискові фрези працюють у важчих умовах стислого різання, що часто супроводжується вібраціями із-за низької жорсткості корпусів фрез і несприятливих умов відведення стружки із зони різання.

Звичайні дискові фрези призначені для утворення пазів і розрізняються на дискові фрези одно- дво- і трибічного різання.

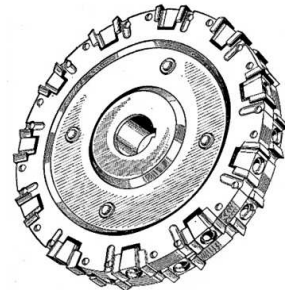


Рис. 11.6: Фреза  
дискова

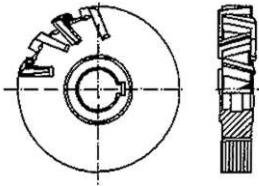


Рис. 11.7: Фреза з  
різнона-  
правленим  
зубом

Дискові односторонні фрези мають різальні кромки тільки на одній зовнішній стороні. Це погано, адже задні кути на бічних сторонах інструменту дорівнюють нулю і він "затирає" по бічних сторонах.

Дискових двосторонні фрези мають різальні кромки на циліндричній і одній торцевій поверхнях. Такі фрези використовують для утворення уступів.

Дискових трибічні фрез мають на кожному зубці три різальні кромки – одну на зовнішній циліндричній і дві на бічних сторонах. Така конструкція дозволяє мати на всіх сторонах інструменту додаткові задні кути.

Для покращення плавності роботи трибічні дискові фрези виготов-

ляють з різноспрямованими зубцями (рис.11.7), що дозволяє створити на торцевих різальних кромках позитивні передні кути. Змінні ножі виготовляють зі швидкорізальної сталі з кріпленням в клино-подібних пазах за допомогою рифлень.

### Прорізні фрези

Для утворення вузьких пазів застосовують "пазові" (прорізні) фрези (рис.11.8) точні по ширині. Зовні вони подібні до дискових фрез, але мають меншу довжину головних різальних кромки (меншу товщину). Допоміжні різальні кромки на торцях отримують заточуванням з кутом в плані  $\phi = 10...12^\circ$ . Стружкові канавки у них нарізують тільки на циліндричній частині.

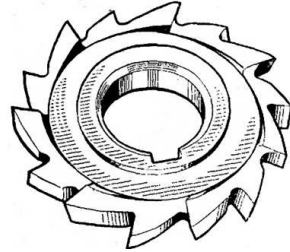


Рис. 11.8: Фреза прорізна

### Кутові фрези

Для виготовлення прямих стружкових канавок в інструменті застосовують кутові фрези. Вони виготовляються, як правило, цілісними, насадними, а фрези невеликих діаметрів іноді мають хвостовики. Головні різальні кромки у однокутових дискових фрез розташовані на поверхні усіченого конуса, а у двохкутових - на поверхні двох суміжних конусів. Ці фрези використовуються в основному як інструменти другого порядку для нарізування канавок у багатозубих інструментів, наприклад фрез, розгортки та ін., а також для обробки різних пазів, скосів і похилих поверхонь.

### Фасонні фрези

Для утворення циліндричних фасонних поверхонь застосовують дискові фасонні фрези. Фасонні фрези є тілами обертання, на зовнішній поверхні яких розташовуються зуби з найрізноманітнішими за формою різальними кромками. Вони працюють так само, як дискові і кутові фрези, і призначені для фрезерування опуклих або увігнутих фасонних зовнішніх поверхонь, а також прямих або гвинтових канавок.

## Кінцеві фрези

Для утворення пазів та оброблення контурів застосовують кінцеві фрези (рис.11.9), які мають дві різальні кромки. Головні різальні кромки, що виконують основну роботу по видаленню припуску, як і у торцевих фрез, розташовані на циліндричній поверхні, а допоміжні (що зачищають) - на торці фрези.

Кінцеві фрези відрізняються від торцевих тим, що мають діаметр менший ніж висоту. Зубці виготовляють зазвичай гвинтовими, з кутом нахилу до осі  $\omega = 25...35^\circ$ .

Таке велике значення кута за наявності великих за об'ємом стружкових канавок забезпечує надійне відведення стружки із зони різання навіть за дуже обмежених умов різання. З цієї причини число різальних зубів у кінцевих фрез значно менше, ніж у торцевих фрез. Проте при цьому зниження продуктивності компенсується за рахунок збільшення подачі на зуб.

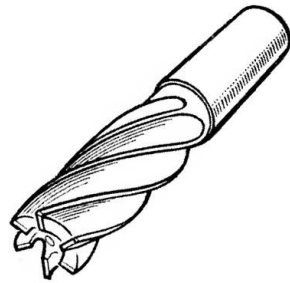


Рис. 11.9: Фреза кінцева

Хвостовики кінцевих фрез або циліндричні ( $d = 3...20$  мм), або конічні з конусом Морзе ( $d = 14...63$  мм). У фрез великих діаметрів використовуються хвостовики з конусом 7:24. Кріплення фрез в шпинделі верстата при циліндричному хвостовику робиться за допомогою цангових патронів, а при конічному хвостовику, що має внутрішню різьбу - штрівелем (натяжним болтом), що проходить через отвір у шпинделі верстата.

## Шпонкові фрези

Для утворення пазів під стандартні шпонки застосовують шпонкові фрези (рис.11.10). На відміну від кінцевих фрез шпонкові фрези мають тільки два зуби з глибокими прямими або похилими стружковими канавками. Довжина їх робочої частини дорівнює приблизно трьом діаметрам фрези.

При цьому діаметр серцевини фрези збільшений до  $0,35d$ , завдяки чому забезпечується максимальна жорсткість інструменту. Особливість умов роботи шпонкових фрез полягає в тому, що паз під

шпонку вони обробляють за декілька проходів.

У кінці кожного проходу робиться урізування на глибину паза шляхом вертикальної подачі уздовж осі фрези. Цю роботу виконують різальні кромки, розташовані на торці фрези, заточені з кутом піднутрення  $\varphi = 5^\circ$  по конусу з вершиною, спрямованою у бік хвостовика.

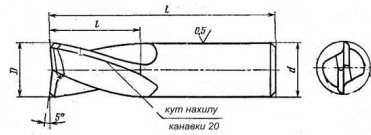


Рис. 11.10: Фреза шпонкова

Щоб уникнути при цьому значного збільшення осьової складової сили різання, у швидкорізальних фрез роблять підгострювання поперечної кромки, як у свердел.

Для різального інструменту діаметри  $d_{\text{ш}}$  шпонкових фрез стандартизовані. Вони залежать від діаметру  $D$  вал/отвору інструменту

$D$ , мм	8	10	12	16	22	27	32	40	50	63
$d_{\text{ш}}$ , мм	2	3	3	4	6	6	8	10	12	14

Переточують шпонкові фрези по задніх поверхнях торцевих кромок. При цьому діаметр фрези зберігається незмінним, що необхідно для забезпечення постійності розміру стандартного паза.

### Фрези для Т-подібних пазів

Для утворення пазів у верстатних столах застосовують фрези двох типів. Спочатку звичайною дисковою фрезою утворюють прямокутний паз потрібної глибини, а потім Т-подібною фрезою (рис.11.11) оформлюють його кінцеву форму. Ці фрези є спеціальними.

Фрези Т-подібного профілю працюють в тяжких умовах і часто ламаються із-за пакетування стружки. Для поліпшення її відведення такі фрези роблять з різноспрямованими зубами і з кутом піднутрення на торцях, рівним  $\varphi_1 = 1...2^\circ$ .



Рис. 11.11: Т-подібна фреза

## 11.4 Набори фрез

Набір фрез є групою фрез, підібраних за профілем і розмірами обробленої поверхні деталі і закріплених на одній обшій оправлянню (рис.11.12 ).

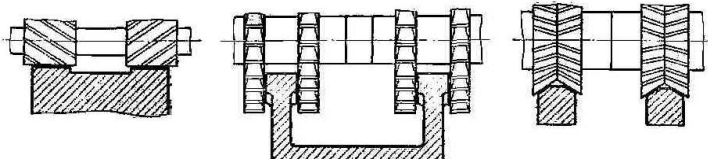


Рис. 11.12: Набори фрез

При цьому одночасно обробляється ряд поверхонь однієї або декількох заготовок. Скорочення числа операцій, установок і переходів підвищує продуктивність. Застосування наборів фрез забезпечує також вищу точність і якість деталей, в порівнянні з обробкою окремими фрезами.

При проектуванні набору фрез задаються діаметром найменшої фрези, а діаметри інших фрез визначаються виходячи з розмірів і взаємного розташування оброблюваних поверхонь. Слід по можливості уникати великої різниці в діаметрах фрез, оскільки в цьому випадку скрутно забезпечити для усіх фрез набору доцільні режими різання. Наприклад, число оборотів оправляння, вибране відповідно до прийнятої оптимальної швидкості різання для найменшої по діаметру фрези, не буде оптимальним для фрези більшого діаметру, якщо обидві порівнювані фрези виготовлено з одного інструментального матеріалу. У даному випадку також важко забезпечити розміри діаметрів посадкових отворів для усіх фрез набору.

Для розташування фрез на оправлянні і забезпечення при цьому необхідної відстані між ними користуються настановними кільцями різної ширини. Кільця можуть бути регульовані і нерегульовані. Регульовані кільця дозволяють без знімання фрез з оправляння міняти відстань між ними, що виключає необхідність застосування точених жорстких настановних колін.

Плавна робота набору досягається спеціальною установкою зубів фрез один відносно одного. Для цього канавки шпон у фрезах розташовуються так, щоб вони були зміщені по відношенню до зуба

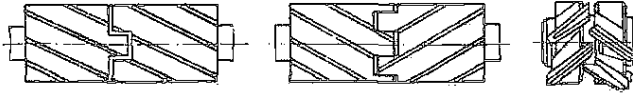


Рис. 11.13: Перекриття кромок

на різні кути. В результаті цього зуби окремих фрез входять в роботу в різні моменти часу, і є набір утворює як би одну фрезу з гвинтовим зубом. При виготовленні і переточуваннях фрези набору забезпечуються другою канавкою шпони, яка усіх фрез розташовується однаково по відношенню до зуба.

Набори фрез доцільно скласти тільки з фрез з гострозаточеними зубами або з тільки фрез із затилованими зубами. У різнотипних фрез при переточуваннях їх діаметри змінюються за різними законами, що може привести до спотворення профілю деталі. Набори фрез використовуються як при обробці переривчастих, а так і при обробці суцільних профілів деталі. Для суцільного профілю вимагають перекриття зубів двох сусідніх фрез щоб уникнути утворення задилок і рисок на деталі, відновлення осьових розмірів профілю набору, які можуть мінятися в результаті переточувань.

Перекриття різальних кромek сусідніх фрез можна виконувати різними способами. Декілька, найбільш простих та поширених приведено на рис.11.13

Набори фрез застосовуються, головним чином, на горизонтально-фрезерних, верстатах. Конструюючи набір фрез і уточнюючи область його доцільного застосування слід враховувати, що значні зусилля, спостережувані при фрезеруванні, не повинні перевищувати допустимі значень по потужності верстата, міцності і жорсткості опрацювання і деталі, міцності кріплення деталі в пристосуванні. З цієї точки зору не слід застосовувати набори фрез з широким профілем при обробці нежорстких і легко таких, що деформуються деталей. При високих вимогах до точності або великої глибини різання доцільно вести обробку в декілька проходів чорновими і чистовими наборами.

У інструментальному виробництві набори фрез знаходять застосування при фрезеруванні стружкових канавок мітчиків, розгортки і інших інструментів.

## Діаметр фрез

Зовнішній діаметр фрез є одним з головних параметрів які впливають на їх конструкцію.

Переваги фрез великого діаметру:

- можливість застосування оправок великих діаметрів;
- можливість кращого розміщення зубів та збільшення їх кількості;
- покращення відводу стружки.

Недоліки фрез великого діаметру:

- збільшені витрати на дорогий інструментальний матеріал;
- великий крутний момент і відповідно збільшені витрати енергії;
- збільшення технологічного часу на врізання у заготовку.

Отже, взаємне врахування цих переваг та недоліків здебільшого призводить до застосування фрез відносно малого діаметру. На практиці для визначення зовнішнього діаметру фрези можливо застосувати такі співвідношення:

$h_d$ , мм	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20
$D$ , мм	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150

$h_d$  – найбільша висота профілю деталі;

$D$  – зовнішній діаметр фрези.

## Висновки

Таким чином, циліндричні фрези застосовуються для обробки різноманітних відкритих поверхонь. Зубці на такому типі фрези розташовуються на спеціальній циліндричній основі, а крім того, до осі зубці нахилені під кутом 30-40%. Такі фрези використовуються для якісної комплексної обробки різноманітної багатоступінчастої поверхні, а також для різних пластиків.

Фрези торцеві використовуються для обробки різного роду відкритих поверхонь. Осі фрези розміщуються під прямим кутом до поверхні, що обробляється. Зубці розташовуються як на циліндричній, так і на торцевій поверхнях фрези. Характерною особливістю такого типу фрези є те, що на торцевій фрезі розташована більша

кількість зубців, ніж на циліндричній. Таким чином, торцева фреза гарантує більш якісну обробку деталі.

Кінцеві фрези характеризуються дуже широкою сферою технічного застосування. Фрези такого типу використовуються для обробки уступів, глибоких пазів, а також взаємно перпендикулярних площин, можуть бути задіяними для виконання контурної обробки внутрішніх і зовнішніх поверхонь профілю складної конструкції.

Дискові фрези підходять для виконання таких завдань, як різання канавок, пазів, розкрою різноманітних металевих деталей. Виходячи з особливостей конструкції, їх можна розділити на кілька категорій, таких як цілісні і збірні.

Також слід зазначити, що кутові фрези, фактично є одним з різновидів дискових фрез. Такий інструмент використовується для прорізання канавок, які мають кутовий профіль. Однак у більшості випадків, кутові фрези застосовують для формування стружкових канавок у фрези, зенкерів і розгортки. На сучасному ринку представлені наступні види кутових фрез: праві і ліві фрези двостороннього типу, а також симетричні і несиметричні типи. Такі інструменти обов'язково виконуються суцільнометалевими, а як матеріал використовується швидкорізальна сталь.

Фасонні фрези застосовуються багатьма виробниками для роботи з канавками, які відрізняються складним профілем. Фасонні фрези значно відрізняються від інших типів фрез, оскільки проектується залежно від габаритних розмірів і бажаного профілю поверхні, яка підлягає обробці.

## 11.5 Проектування фрез

Проектування гострозаточених фрез виконують у такій послідовності [2]

1. Діаметр посадкового отвору  $d$

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_{\text{сум}}}{0,1\sigma_B}}$$

де  $M_{\text{сум}}$  – сумарний момент на оправці;

$\sigma_B$  – допустиме навантаження для матеріалу деталі.

$$M_{\text{сум}} = \sqrt{\left(\frac{3}{16}Pl\right)^2 + \left(\frac{P_z D}{2}\right)^2}$$



де  $P$  – рівнодійна сил  $P_z$  та  $P_y$ ;

$l$  – довжина оправки на якій встановлена фреза.

Розраховане значення  $d$  округлити до цілого

$d$ , мм	12	16	11	27	32	40
----------	----	----	----	----	----	----

## 2. Зовнішній діаметр фрези $D$

$$D = D_1 + 2H$$

де  $D_1$  – діаметр що залежить від діаметру посадкового отвору;

$H$  – висота профілю різальної кромки фрези.

$d$ , мм	12	16	11	27	32	40
$D$ , мм	24	28	35	40	50	60

## 3. Кількість зубів $z$ фрези

$$z = \frac{C_z D}{t_{max}^{0,5} s_{z,max}^{0,5}}$$

де  $s_{z,max}$  – найбільша подача на зуб.

$t_{max}$  – найбільша глибина різання;

$C_z$  – коефіцієнт  $C_z = 0,2$  для дискових фрез;

$D$  – зовнішній діаметр фрези;

Спрощено кількість зубів  $z$  фрези можливо визначити за формулою

$$z = m\sqrt{D}$$

де  $m = 1,05$  – для фрез з  $\omega = 30^\circ$ ;

$m = 2,0$  – для фрез з  $\omega = 15...20^\circ$ ;

$m = 1,5$  – для звичайних фрез прямозубих;

$m = 1,25$  – для фрез великозубих прямозубих;

$m = 1,75$  – для фрез мілкозубих прямозубих.

Перевіряємо кількість одночасно зубів фрези, їх повинно бути не менше ніж три. В протилежному випадки кількість зубів  $z$  необхідно збільшити.

## 11.6 Питання для самоконтролю

1. Наведіть класифікацію фрез
2. Призначення фрез за типами поверхні що утворюється?
3. Опишіть конструкцію циліндричних фрез.
4. Опишіть конструкцію дискових фрез.
5. В чому різниця між кінцевими та шпонковими фрезами?
6. У яких випадках застосовують набори фрез?
7. Для чого на фрезах роблять зубці різної направленості?
8. Чи стандартизовано посадкові діаметри фрез?
9. В чому різниця між затіланими та гострозаточними фрезами?
10. Охарактеризуйте три основні форми зубу фрези.

## Література

- [1] Блумберг В.А., Зазерский Е.И. Справочник фрезеровщика. Л.; 1987.
- [2] Климов В.И. Справочник инструментальщика конструктора М.: Машгиз, 1958. 668 с.
- [3] Косовский В.Л. Справочник молодого фрезеровщика. Москва. Высшая школа, 1992. 400 с.
- [4] Родин П.Р. Металлорежущие инструменты. - К.: Вища шк., 1986. - 445 с.
- [5] Родин П.Р. Основы проектирования режущих инструментов. - К.: Вища шк., 1990.-423 с.
- [6] Филиппов Г.Р. Режущие инструменты. -Л.: Машиностроение, 1981.-392 с.

Чому б ти не вчився, ти вчишся  
для себе.

*Петроній*

## 12 Фасонні фрези

Фасонні фрези [1, 2, 3] застосовуються для оброблення деталей із складним фасонним профілем на фрезерних верстатах. Фрези мають фасонну різальну кромку, тому складні у виготовленні і при експлуатації.

За способом виготовлення зубів і особливостями експлуатації фасонні фрези підрозділяються на дві групи:

– гострозаточені:

Термін “гострозаточені” не означає що ці фрези гострі, а всі інші тупі. Ні, всі фрези мають гостре лезо

– затиловані:

Термін “затиловані” прийшов із стародавніх часів. У давнину задню поверхню зубу називали “затилком” зубу.

Кожен з цих типів має як переваги, так і недоліки. Саме тому їх використовують у сучасному інструментальному забезпеченні машинобудівного виробництва.

### Порівняння фрез

Гострозаточені	Затиловані
Передні та задні кути “оптимальні”, тому фреза добре працює.	Передній кут дорівнює нулю (з відповідними наслідками). Задній кут менший “оптимального”, тому фреза працює не досить гарно.
Стійкість інструменту нормальна, адже геометричні параметри відповідають “оптимальним”.	Стійкість інструменту понижена, адже кути інструменту не найкращі. Передній кут взагалі дорівнює нулю.
Дешева у виготовленні, може бути виготовлена на універсальному устаткуванні.	Дорога у виготовленні, потребує спеціального устаткування, яке досить дороге.

Для переточування треба мати спеціалізований верстат, досить дорогий.

Тому – застосовують переважно у масовому виробництві, де головне – продуктивність.

Для переточування придатний універсальний заточувальний верстат.

Тому – застосовують в одиночному та дрібносерійному виробництві, де немає сенсу купувати дороге спеціалізоване устаткування.

На рис.12.1 наведено фасонні фрези різного профілю. Як бачимо профіль фрез може бути різної форми. Але всі вони відносяться до типу дискового фасонного інструменту.

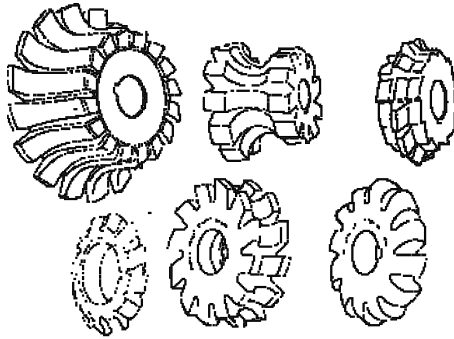


Рис. 12.1: Фасонні фрези

## 12.1 Гострозаточені фрези

Гострозаточні фасонні фрези мають наступні переваги в порівнянні із затіленими:

- більша кількість зубів;
- вища чистота обробленої поверхні;
- вище стійкість (приблизно на 30%);
- більше продуктивність – за рахунок “оптимальної” геометрії яка передбачає наявність додатних кутів  $\gamma$  та  $\alpha$  (рис.12.2).

Однак, широкому їх використанню перешкоджає один єдиний недолік – для збереження профілю різальної кромки після переточування, потрібно застосовувати спеціальний верстат.

Найістотнішим недоліком гострозаточених фасонних фрез є складність в експлуатації, пов'язана з переточуванням. Для того щоб зберегти профіль кромки незмінним, необхідно заточувати по шаблону. Для цього застосовують спеціальні верстати які:

- достатньо дорогі (економічно не вигідно купувати дорогий верстат, коли ви застосовуєте дві-три фрези на рік);
- для кожної фасонної фрези необхідно мати свій фасонний шаблон, який ще треба мати.

Заточування фрез відбувається по задній грані. Для її здійснення потрібне спеціальне пристосування з копірним пристроєм, що дозволяє забезпечити таку траєкторію руху заточного круга, яка відтворює фасонний профіль зуба фрези.

Задній кут  $\alpha$  на фрезі утворюється зміщенням осі шліфувального круга відносно осі фрези на величину  $H$ , яке залежить від діаметру  $D_k$  шліфувального круга (рис.12.3).

Ще більше ускладнюється заточування фрез з увігнутим профілем; коли необхідно, щоб профіль заточного круга вписався у форму профілю зуба фрези.

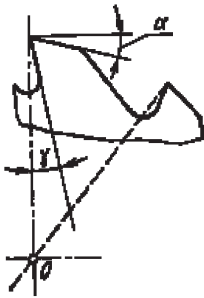


Рис. 12.2: Кути гострозаточеного зуба

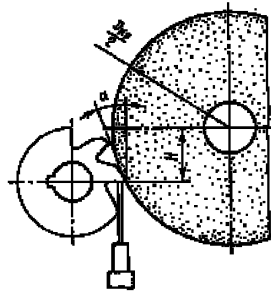


Рис. 12.3: Заточування гострозаточеного зуба

## 12.2 Затиловані фрези

Фасонні фрези із затилованими зубами отримали велике поширення із-за наступних позитивних якостей:

- незмінність профілю оброблюваної деталі впродовж усього періоду експлуатації фрези;

- збільшення стружкових канавок у міру переточування фрези;
- простота в експлуатації, пов'язана з простотою заточування по передній грані (рис.12.4), яка здійснюється торцем або конічною поверхнею заточного круга без спеціальних пристосувань

У той-же час при конструюванні затілених фрез необхідно враховувати їх недоліки в порівнянні з гострозаточеними:

- мала кількість зубів;
- нижче частота оброблення деталі (на один клас);
- нижче стійкість (на 20...30%);
- менше продуктивність через недосконалу геометрію.

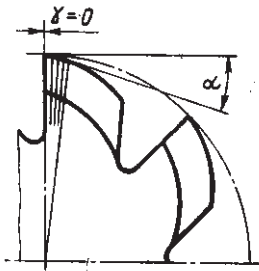


Рис. 12.4: Заточування затилованого зуба

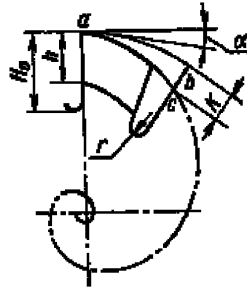


Рис. 12.5: Крива затилування

Разом із спеціальними фрезами з найрізноманітнішим фасонним профілем є цілий ряд стандартних затілених фрез :

- напівкруглі опуклі і увігнуті (радіусні);
- дискові зуборізні фрези (модульні<sup>12</sup> фрези);
- черв'ячні зуборізні фрези;
- різьбонарізні фрези;
- фрези для утворення стружкових канавок стандартних інструментів.

<sup>12</sup>Модульний інструмент призначений для утворення зубчатих коліс. Термін “модульний” походить від основного параметру зубчатого зачеплення, модулю.

## Затилювання

Затиловані фрези і називаються так тому, що в процесі їх, виготовлення для оформлення задньої поверхні зуба застосовується специфічна операція інструментального виробництва – затилювання, виконувана на спеціальних верстатах.

**Затилювання призначене** для збереження назміним профілю зубів інструменту при переточуваннях по передній грані до певного зносу. Це є основне і єдине призначення затилювання<sup>13</sup>.

Обробка задньої поверхні зубів затилюємого інструменту здійснюється різцем або шліфувальним кругом по певній траєкторії, що називається кривою затилювання. В якості кривої затилювання, зазвичай, використовується спіраль Архімеда (рис.12.5). Пояснюється це простотою виготовлення і універсальністю кулачка - копіру, що управляє зворотно-поступальним рухом інструменту що затилює.

У міру рівномірного обертання заготовки фрези (рис.12.6) затилювальний різець переміщається до її центру, здійснюючи знімання металу із задньої поверхні зуба. Величина  $K$ , що характеризує шлях різця до центру заготовки, називається величиною затилювання і визначається значенням заднього кута.

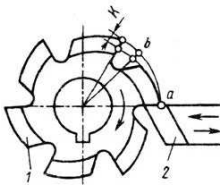


Рис. 12.6: Схема затилювання

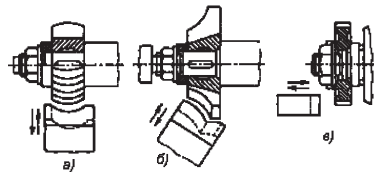


Рис. 12.7: Типи затилювання

Цикл руху різця 2 при затилюванні одного зуба складається з робочого ходу та холостого (зворотного) ходу.

Під час виконання робочого оду різальна кромка різця видаляє частину матеріалу задньої сторони зуба, формуючи його задню затиловану поверхню.

При виконанні холостого ходу, який припадає на канавку, різальна кромка різця повертається у вихідне положення.

<sup>13</sup> Досить часто молодосвідчені "фахівці" помилково вважають, що призначенням затилювання є збереження задніх кутів. Але це неправда. Кути змінюються завжди.

Залежно від профілю різальної кромки фрези розрізняють (рис.12.7):

- радіальне затилювання;
- нахилене затилювання (кутове затилювання);
- та осьове затилювання.

У будь якому варіанті рух різця який затилює розташовано перпендикулярно до фасонного профілю фрези.

**Величина затилювання** характеризується параметром  $K$ , який вимірюється у міліметрах. Наприклад, величина затилювання становить  $K = 3$  мм.

Чисельно величину затилювання можливо розрахувати за формулою

$$K = \frac{2\pi r_b}{Z} \operatorname{tg} \alpha_b$$

де  $\alpha_b$  – задній кут на вершині профілю фрези;

$Z$  – кількість зубів фрези;

$r_b$  – зовнішній радіус фрези.

Розраховане значення  $K$  округлюють до найближчого з ряду

$K, \text{ мм}$	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	10,5	11,0

На робочому кресленні сконструйованого інструменту вказують величину затилювання  $K$ , а не задній кут який вона забезпечує. Затилювальний верстат оснащується комплектом кулачків з найбільш поширеними величинами затилювання, до значень яких округляються розрахункові величини  $K$ .

### Висновки:

- призначення затилювання – зберегти незмінним профіль різальної кромки після переточування фрези;
- задні кути – є перемінними вздовж кромки. Їх величина залежить від відстані точки до осі інструменту.

## 12.3 Кути затилової фрези

Задні кути в різних точках різальної кромки фасонної затилової фрези зазвичай неоднакові. Їх величина залежить від відстані



цієї точки до осі фрези та від форми фасонного профілю різальної кромки.

Між величиною затилювання  $K$  та заднім кутом  $\alpha_{\text{в}}$  є така математична залежність

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{в}} = \frac{KZ}{2\pi r} \quad \text{звідки} \quad K = \frac{2\pi r}{Z} \operatorname{tg} \alpha_{\text{в}}$$

де  $K$  – величина затилювання;

$Z$  – кількість зубів фрези;

$r$  – радіус (відстань) від розрахункової точки до осі фрези;

$\alpha_{\text{в}}$  – задній кут фрези у її вершинній точці.

Параметри  $K$  та  $Z$  однакові для всієї фрези і тому не впливають на зміну кутів вздовж кромки.

Але радіус  $r$  залежить від розташування розрахункової точки кромки. Отже, задній кут затилюваної фрези є змінним вздовж кромки і залежить від її відстані до центру фрези.

Задній кут  $\alpha_{\text{т}}$  вимірюється у головній січній площині  $P_{\text{т}}$  для будь-якої точки можливо визначити за формулою

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{т}} = \frac{r_{\text{в}}}{r} \operatorname{tg} \alpha_{\text{в}} \sin \varepsilon$$

де  $r_{\text{в}}$  – радіус фрези у її вершинній точці;

$r$  – радіус фрези у досліджуваній точці;

$\alpha_{\text{в}}$  – задній кут у вершинній точці фрези;

$\varepsilon$  – кут між дотичною до профілю та торцевою площиною.

**Якщо** кут  $\alpha_{\text{т}}$  менший ніж  $3^\circ$  то фреза буде непрацездатною. Тоді необхідно збільшити кут  $\alpha_{\text{в}}$  при вершині фрези.

## 12.4 Подвійне затилювання

Для підвищення точності і стійкості затилюваних фрез їх потрібно загартувати. Але після гарту порехні фрез має окалину, а сама фреза деформується. Отже, для виправлення цих недоліків її необхідно підправити – заново виконати затилювання. Але фрези вже загартована, тому для другого затилювання застосовують абразивні круги. Це друге затилювання так і називають “друге затилювання”, а саму фрезу – фрезою з подвійним затилюванням.

На рис.12.8 подано схематичне зображення подвійного затилювання. Затилювання на величину  $K$  називають першим затилюванням. Затилювання на величину  $K_1$  називають другим затилюванням.

Між першим та другим затилюваннями (величинами  $K$  та  $K_1$ ) існує така залежність

$$K_1 = (1,25 \dots 1,35)K.$$

З рис.12.8 добре видно, що крива  $K$  першого затилювання безпосередньо торкається різальної кромки. А крива  $K_1$  другого затилювання торкається задньої частини зубу.

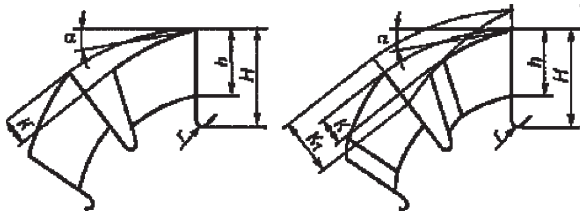


Рис. 12.8: Подвійне затилювання

Насправді процес подвійного затилювання відбувається трохи інакше ніж було описано. І зовсім не так, як його подають в підручниках. При виготовленні фрези існує певна послідовність технологічних процесів порушувати які неможливо.

Тому у реальних виробничих умовах :

#### Спочатку :

- перед гартуванням, фрезу обробляють по кривій  $K_1$  другого затилювання. То б то фрезу затилюють фасонним різцем по всій довжині задньої поверхні.

#### Потім :

- після гарту фрези її обробляють абразивним кругом по кривій  $K$  першого затилювання. На довжну приблизно 1/3...2/3 довжини задньої поверхні.

Застосування подвійного затилювання виправдане і з точки зору міцності зуба і з точки зору підвищення якості різального інструмент.

При подальшому переточування фрези в процесі її експлуатації, переточування фрези робиться в межах третини товщини зуба.

## **12.5 Особливості затилованих фрез**

При конструюванні визначають основні параметри:

- діаметр фрези (після розрахунку округляють до стандартного);
- діаметр отвору (приймають виходячи із стандартних значень та наявного устаткування);
- кількість зубів (повинна бути парною, інакше неможливо виміряти діаметр фрези);
- профіль канавки (виходячи з конструктивних міркувань),
- профіль зуба (профіль різальної кромки який залежить від деталі),
- величина затилювання (першого та другого).

Необхідно враховувати наступні вимоги:

- достатня міцність зуба (залежить від форми зубу);
- величина стружкових канавок нової фрези повинна забезпечувати розміщення стружки;
- необхідно передбачити достатній запас на переточування по товщині зуба фрези;
- число зубів фрези має бути достатнім для плавної роботи (одночасно в зачепленні з оброблюваною деталлю повинні знаходитися як мінімум 2 зуби);
- канавки між зубами, в початковий період, мають бути достатні для виходу затилювального різця або шліфувального круга.

Зазвичай передній кут у фасонних затилованих фрез дорівнює нулю. В цьому випадку профіль різальної кромки зуба фрези в передній площині відповідає профілю оброблюваної деталі і не вимагає спеціального розрахунку.

Профіль різальних кромок затилювального різця (інструмент 2-го порядку), у якого передній кут дорівнює нулю, в передній площині також відповідає профілю деталі, що обробляється фрезою.

Якщо передній кут фрези не дорівнює нулю, то профіль її різальних кромок в передній площині зуба відрізнятиметься від профілю деталі, в цьому випадку необхідно робити розрахунок профілю зуба фрези в передній площині. Одночасно значно ускладнюється затилювання таких фрез, передусім з точки зору геометрії і установки

затилювальних різців, профіль яких також необхідно спеціально коригувати.

**Зауваження.** Затиловані фрези, що мають додатній передній кут працюють значно краще ніж фрфрези з нульовим переднім кутом. Але їх профіль змінюється після переточування<sup>14</sup>.

## 12.6 Питання для самоконтролю

1. Чому гострозаточені фрези так називаються?
2. Чому затиловані фрези так називаються?
3. Коли застосовують гострозаточені фрези?
4. Коли застосовують затиловані фрези?
5. В чому різниця між затилованими та гострозаточеними фрезами?
6. Чому затиловані фрези виконують із переднім кутом рівним нулю?
7. По якій поверхні переточують гострозаточені фрези і чому?
8. По якій поверхні переточують затиловані фрези і чому?
9. Як позначають затилювання на кресленнику?
10. В яких одиницях вимірюють величину затилювання?

## Література

- [1] Аврутин С.Д. Рациональная работа фрезеровщика. Мостква, Машгиз, 1962.
- [2] Корытный Д.М. Фрезы. М.; Машгиз, 1963, 120 с.
- [3] Кортушов Б.С. Заточка и доводка режущего инструмента. Тру-дрезервиздат, 1956

---

<sup>14</sup>Якщо бути відвертим, то треба зауважити, що затиловані фрези з додатнім переднім кутом можливо зробити такими що їх профіль буде незмінним після переточуванням. Але, в цьому випадку їх передня поверхня повинна бути не площиною, а поверхнею другого порядку – Архімедовою. Це дуже дорого і зазвичай економічно не виправдано.

Скільки б ти не жив, усе життя  
слід вчитися.

*Сенека*

## 13 Зуборізні інструменти

Зубчасті передачі мають широке поширення в машинобудуванні. Інструмент що утворює зубчасті колеса називають зуборізним інструментом [1, 2]. При конструюванні зуборізного інструменту необхідно враховувати, що існують зубчасті передачі:

- евольвентного зачеплення;

Зубчасте зачеплення де профіль зубу окреслений евольвентою кола. Дозволяє передавати рух з постійним передатним відношенням

- циклоїдного зачеплення:

Зубчасте зачеплення де профілі зубів окреслені по циклоїдних кривих – епіциклоїдам і гіпоциклоїдам. Застосовується обмежено (напр., в годинникових механізмах, компресорах).

- зачеплення Новікова:

Зубчасте зачеплення де профілі зубів в торцевому перерізі окреслені колами близьких радіусів. На відміну від евольвентного зачеплення дозволяє передавати значно більші зусилля, але складне у виготовленні.

Найбільш поширене - евольвентне зачеплення з кутом  $20^\circ$ . У деяких країнах застосовують інші значення кута зачеплення<sup>15</sup>.

**Евольвента** – це траєкторія руху точки, що належить прямій, яка перекочується без ковзання по колу радіусу  $r_0$ . Ця пряма називається виробляючою прямою, а коло по якому вона перекочується – основним колом.

**Основне коло** – це коло радіусу  $r_0$  по якому котиться виробляюча пряма.

Полярне рівняння еволвенти можливо записати як

$$\varphi = \frac{\sqrt{\rho^2 + r_0^2}}{r_0^2} - \arccos \frac{r_0}{\rho}$$

<sup>15</sup>В Америці та Англії  $14,5$  і  $25^\circ$ .

де  $\rho$  – полярний радіус-вектор точки евольвенти;  
 $r_0$  – радіус основного кола;  
 $\varphi$  – полярний кут.

Тоді параметричне рівняння евольвенти

$$x = r_0 (\cos \alpha + \alpha \sin \alpha); \quad y = r_0 (\sin \alpha - \alpha \cos \alpha).$$

Евольвента, як крива для формування профілю зуба була запропонована Л. Ейлером. Вона має значні переваги перед іншими кривими, вживаними для цієї мети:

- забезпечує постійність передавального відношення;
- нечутлива до неточностей міжосьової відстані (що полегшує збірку та експлуатацію в склаондих умовах);
- найбільш проста і технологічна у виготовленні;
- легко стандартизується (що особливо важливе для такого поширеного виду механізмів як зубчасті передачі).

Основні принципи конструювання зуборізних інструментів для різних видів зачеплення аналогічні, тому досить розглянути їх стосовно обробки зубчастих коліс евольвентного зачеплення.

Зубчасті колеса можна утворювати двома основними методами:

- методом копіювання:
  - коли нарізування зубів здійснюється фасонним інструментом, форма різальної кромки якого відповідає формі западини зуба.
- методом обкатки:
  - коли зуби колеса утворюються в результаті взаємного відносного руху різальної кромки інструменту та заготовки.

**Модуль**  $m$  зубчатого колеса (зачеплення) це відношення діаметру  $d_d$  ділильного кола до кількості  $z$  зубців колеса

$$m = \frac{d_d}{z}.$$

Залежно від методу обробки усі зуборізні інструменти можна розділити на дві групи:

- фасонні інструменти, які працюють методом копіювання :
- модульні<sup>16</sup> дискові і пальцьові фрези;

<sup>16</sup>Назва “модульні” пішла від основного параметру зубчастого зачеплення – модулю.

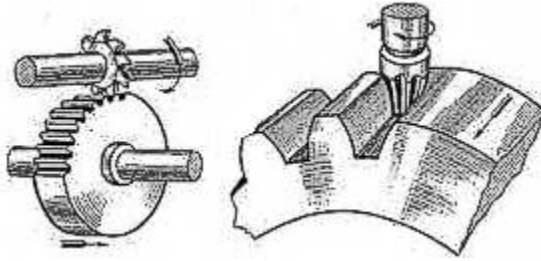


Рис. 13.1: Робота фрез методом копіювання

- зуборізні голівки;
- накатні ролики;
- протягання;
- інструменти, які працюють методом обкатки :
  - зуборізні гребінки;
  - черв'ячні фрези;
  - довбачі;
  - строгальні різці;
  - різні різцеві голівки (для конічних коліс);
  - шевери;
  - шліфувальні круги (із спеціальною правкою).

### 13.1 Дискові модульні фрези

Це фасонні фрези [3, 6] із затіланими зубами, профіль яких відповідає профілю западини нарізаного колеса (рис.13.2). Застосовуються в індивідуальному виробництві. Не потребують спеціального устаткування, але точність оброблених коліс невелика – 9...10 ступінь. Принцип роботи на рис.13.1.

Табл. 13.1: Набори дискових модульних фрез

Номер фрези	1	2	3	4	Номер фрези	5	6	7	8
Кіль-ть зубців колеса	12	14	17	21	Кіль-ть зубців колеса	26	35	54	135
	...	...	...	...		...	...	...	...
	13	16	20	25		34	54	134	$\infty$

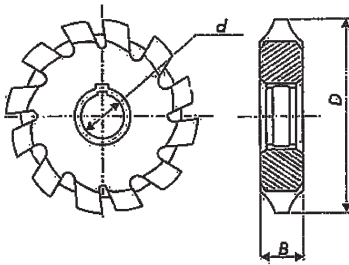


Рис. 13.2: Фреза модульна дискова  
цільна

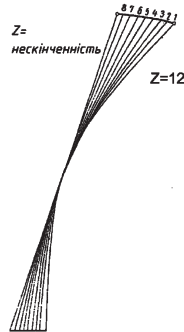


Рис. 13.3: Профіль зубців

Форма евольвенти залежить від діаметру основного кола, тому для кожного числа зубів нарізаного колеса слід було б мати свою дискову модульну фрезу, адже профіль западин буде різним що видно на рис. 13.3. Це дорого і незручно, тому одну фрезу застосовують для нарізання коліс з різною кількістю зубів. Це так звані набори фрези. До різних наборів входить різна кількість фрез. Найбільш поширений набір має 8 фрез (табл.13.1).

Профіль зуба фрези розраховується для меншого числа зубів нарізаного колеса. Для збереження точності профілю дискових модульних фрез зазвичай використовують попереднє фрезерування чорновими модульними фрезами з переднім кутом  $8...10^\circ$ .

Чистові фрези застосовують для зняття невеликого припуску, передній кут у них дорівнює нулю. Профіль фрез зазвичай не шліфований, для підвищення їх точності іноді застосовується шліфування профілю, в цьому випадку виконується подвійне затилування.

## 13.2 Пальцові модульні фрези

Застосовуються ці фрези (рис.13.4) у важкому машинобудуванні для фрезерування прямозубих, косозубих і шевронних коліс великого модуля (понад 20 мм). Чистова пальцова фреза - затилована фреза з переднім кутом рівним нулю.

Профіль її в осьовому перерізі відповідає профілю западини прямозубого зубчастого колеса, для косозубого і шевронного потрібний спеціальний розрахунок, оскільки осьовий профіль фрези відрізняє-



ться від профілю западини колеса в нормальному перерізі. Чорнова пальцева фреза, має передній кут  $\gamma = 8...10^\circ$  і канавки для ділення стружки.

Пальцеві фрези можуть бути збірними. Зовнішній діаметр і довжину фрези вибирають залежно від розмірів профілю. Із-за різного діаметру фрези, задній кут при затилюванні на довжині зуба різний. Щоб зменшити цю різницю, застосовують косе затилювання під кутом  $10...15^\circ$ .

Принцип роботи пальцевої фрези подано на рис.13.1. Фреза обертається навколо своєї осі та одночасно переміщується вздовж майбутньої западини між зубцями.

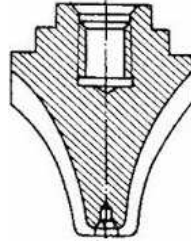
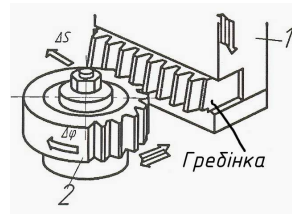


Рис. 13.4: Фреза модульна пальцева

### 13.3 Зуборізні гребінки

Зуборізна гребінка - один з перших інструментів, що з'явилися, для обробки зубчастих коліс методом обкатки. Нині застосовується порівняно рідко.

Зуборізна гребінка здійснює обробку (рис.13.5) зубчастого колеса струганням, здійснюючи зворотний та поступальні рухи 1 і обкатуючись відносно оброблюваного колеса 2. Нарізування зубчастих коліс гребінкою точніший, але менш продуктивніший метод в порівнянні з обробкою черв'ячною зуборізною фрезой.



Гребінки бувають 2-х типів (рис.13.6). Гребінка типу I не має переднього кута. То б то він створюється завдяки похилому встановленню гребінки на верстаті. Гребінка типу II має передній додатний кут і встановлюється на верстаті горизонтально.

Таке “наукоподібне” різноманіття типів обумовлено виключно бізнесовими інтересами. На початку створення гребінки як інструменту їх випускали дві конкуруючі фірми. Щоб якось примусити споживачів купувати тільки їхню продукцію і було здійснено такий “революційний крок”. Ніякої переваги одна перед одною вони не

мають. Але, придбавши одного разу верстат, споживач вимушений купувати все інше вже тільки в цього продавця. Заточують гребінки по передній грані.

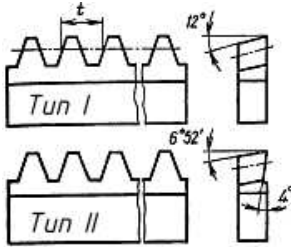


Рис. 13.6: Типи гребінок

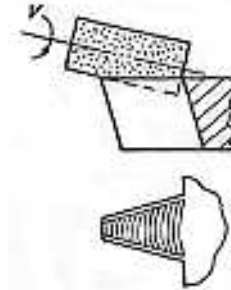


Рис. 13.7: Підточка гребінок

Для збільшення передніх кутів на бічних різальних кромках по передній грані робиться спеціальне заточування виїмки (рис.13.7).

### Проектування гребінок

1. Кут профілю гребінки у площині передньої поверхні

$$\operatorname{tg} \alpha_n = \operatorname{tg} \alpha \cos \gamma$$

де  $\alpha_n$  – кут профілю гребінки;  
 $\alpha$  – задній кут;  
 $\gamma$  – передній кут ( $\gamma=4^\circ$  або  $6^\circ30'$ ).

2. Крок зубців гребінки

$$t = \pi m$$

де  $m$  – модуль зачеплення.

3. Товщина зубу гребінки

$$S = \frac{\pi m}{2}.$$

4. Висота зубу гребінки

$$h \approx 2m.$$

Точне значення висоти зубу залежить від конкретних параметрів зачеплення.

**Зауваження.** Треба зазначити, що повний перелік формул за якими здійснюють розрахунок конструктивних параметрів гребінки займає приблизно 10...12 сторінок формату А4 і з цих причин не наводиться.

### 13.4 Черв'ячні фрези

Черв'ячні фрези (рис.13.8) призначені для обробки зубчастих коліс методом обкатки. Процес утворення профілю зубів колеса (рис.13.9) аналогічний процесу зачеплення колеса з черв'яком, фреза 1 окрім обертального руху, має поступальну ходу уздовж осі заготовки 2, яка обертається навколо своєї осі. Профіль зуба колеса утворюється шляхом послідовного вирізування металу кожним зубом фрези.

Для надання черв'яку різальних властивостей на ньому прорізають подовжні гвинтові стружкові канавки, рівномірно розташовані по колу, а для забезпечення задніх кутів і збереження профілю зуба фрези при переточуваннях, на зубах фрези затилюванням утворюється задня поверхня [4, 5].

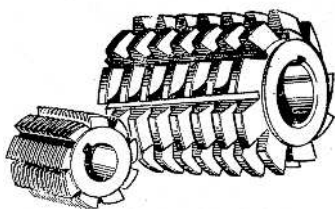


Рис. 13.8: Фреза черв'ячна

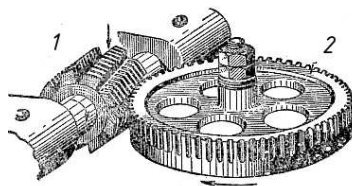
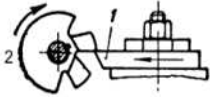
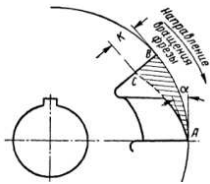
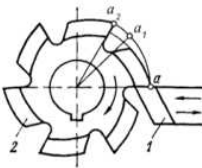


Рис. 13.9: Принцип роботи черв'ячної фрези

Всі сучасні черв'ячні фрези мають затилювання по задній поверхні. Послідовність затилювання представлено у табл.13.2

Таким чином різальна кромка зуба фрези є лінією перетину гвинтових поверхонь – основного черв'яка, стружкової канавки і затилюваної задньої поверхні. Ці особливості утворення профілю черв'ячних фрез необхідно враховувати при їх конструюванні, виготовленні і експлуатації.

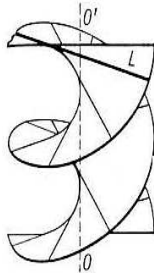
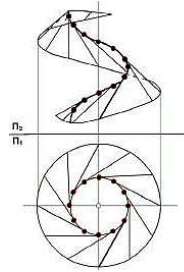
Табл. 13.2: Затилювання

Ескіз	Пояснення
	Кінематика затилювання здійснюється за допомогою двох рівномірних рухів пов'язаних між собою. 1 – поступальний рух затиловочного різця. 2 – обертальний рух заготовки фрези.
	У процесі затилювання різець зрізає частину заготовки по деякій кривій (заштрихована зона). Траєкторія АС по якій рухається різець називається кривою затилювання. Зазвичай це спіраль Архімеда. Отже, між задньою поверхнею та напрямком руху фрези виникає кут, який і є задній кут фрези $\alpha$ . Зазвичай його позначають як $\alpha_b$ (задній кут фрези при вершині). Параметр $K$ – це величина затилювання.
	Треба мати на увазі, що затиловочний різець 1 зрізає не тільки вершину зубця, а обробляє зубець по всьому його профілю. Різець 1 здійснює поступальні перемінні рухи вздовж радіальної площини фрези. Фреза 2 здійснює рівномірний обертальний рух. Рухи різця і фрези пов'язані між собою механічно. Ділянка від $a$ до $a_1$ – оброблення задньої поверхні. Ділянка від $a_1$ до $a_2$ – вихід різця з стружкової канавки фрези.

### 13.4.1 Гвинтові поверхні

Бічна поверхня витка черв'яка є гвинтовою поверхнею, що утворюється в результаті гвинтового руху лінії в просторі. У основу черв'ячних зуборізних фрез покладені гвинтові поверхні, утворені гвинтовим рухом відрізка прямої лінії.

При гвинтовому русі лінії, що проходить через вісь гвинтової поверхні і є нахилоною під деяким кутом до цієї осі, утворюється Архімедова гвинтова поверхня (рис.13.10).

Рис. 13.10: Архімедова гвинтова  
поверхняРис. 13.11: Евольвентна гвинтова  
поверхня

Характерними ознаками гвинтової поверхні Архімеда є утворення :

- прямої лінії в перерізі гвинтової поверхні площиною, що проходить через вісь гвинтової поверхні;
- та спіралі Архімеда (рис.13.12) в перерізі площиною, перпендикулярною до осі гвинтової поверхні.

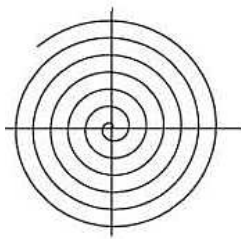


Рис. 13.12: Спіраль Архімеда

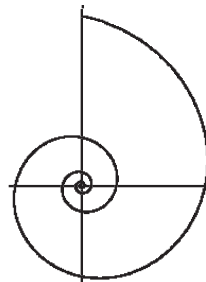


Рис. 13.13: Евольвента

Іншим типом гвинтової поверхні, яку застосовують в інструментальному виробництві є евольвентна поверхня (рис.13.11). При її утворенні твірна лінія обертається навколо циліндра, який називається основним. Причому кут нахилу лінії до горизонтальної площини дорівнює куту підйому гвинтової лінії на цьому циліндрі.

Ознаки гвинтової евольвентної поверхні :

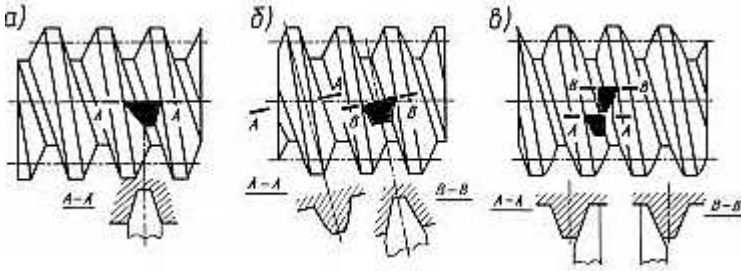


Рис. 13.14: Нарізання черв'яків

- пряма лінія в перерізі гвинтової поверхні площиною - дотичній до циліндра, що утворює;
- евольвента (рис.13.13) в перерізі площиною, перпендикулярній осі гвинтової поверхні.

Утворити, тобто обробити відповідну гвинтову поверхню, можна, використовуючи її властивості. Для цього прямолінійну різальну кромку інструменту - зазвичай різця - необхідно розташувати під час роботи так, щоб її положення відповідало положенню прямої при геометричному утворенні тієї або іншої гвинтової поверхні.

Для утворення архімедівської (рис.13.14,а) гвинтової поверхні передня грань різця з прямолінійними різальними кромками повинна розташовуватися в осьовій площині цієї поверхні.

Для утворення евольвентної (рис.13.14,б) гвинтової поверхні передня грань різця з прямолінійною різальною кромкою має бути розташована в площині, дотичній до тієї, що утворює основного циліндра вище або нижче осі.

Для утворення конволютної (рис.13.14,в) гвинтової поверхні передня грань різця з прямолінійними різальними кромками має бути розташована в площині, перпендикулярній напрямку гвинтовій лінії на ділільному циліндрі.

Вироби, основні робочі поверхні яких є гвинтовими поверхнями, прийнято називати в техніці черв'яками. Залежно від назви гвинтової поверхні вони можуть бути наступними: - архімедов черв'як; - евольвентний черв'як; - конволютний черв'як.

### 13.4.2 Профілювання черв'ячних фрез

Кінематика обкатки досить складна – черв'ячна фреза є гвинтовою деталлю у поєднанні з гвинтовими стружковими канавками і затилованими задніми гвинтовими поверхнями зубів, тому різальні кромки зубів фрези - просторові криві.

Профіль зуба фрези може бути прямолінійним; і аналогічним прямолінійному профілю інструментальної рейки тільки у незатілованій черв'ячній фрези з кутом підйому нарізки і кутом нахилу стружкових канавок рівними нулю. Чим більше кут підйому нарізки, тим більше профіль зуба фрези відрізнятиметься від рейки.

Для порівняно невеликих кутів  $2...5^\circ$  профілів фрези і рейки отожнюються, тобто передбачається, що фреза і оброблюване зубчасте колесо здійснюють зачеплення в площині, а різальні кромки є плоскими лініями. Похибка, яку отримують при такому наближеному розрахунку зазвичай задовольняє практичним вимогам. Залежно від черв'яка, покладеного в основу черв'ячної фрези при її профілюванні, існують наступні конструкції фрез :

- Архімедові черв'ячні фрези;
- евольвентні черв'ячні фрези;
- конволютні черв'ячні фрези.

**Архімедові** черв'ячні фрези, що мають прямолінійний профіль в осьовому перерізі, застосовують зазвичай для обробки черв'ячних зубчастих коліс.

**Конволютні** черв'ячні фрези, що мають прямолінійний профіль в перерізі, перпендикулярному напрямку нарізки, отримали широке поширення для обробки циліндричних зубчастих коліс з прямими і гвинтовими зубами.

**Евольвентні** черв'ячні фрези із-за складності виготовлення широкого поширення не отримали і застосовуються дуже рідко<sup>17</sup>.

**Зауваження.** Теоретично правильно евольвентне зубчасте колесо можливо обробити тільки фрезою яка виготовлена на базі евольвентного черв'яка. Отже, фрези інших типів не можуть утворити евольвентне зубчасте колесо. Таким чином, всі колеса утворені архімедовими або конволютними фрезами, не більше як “подібні до евольвентного зачеплення” з усіма наслідками.

<sup>17</sup>Рідко на просторі колишнього Радянського Союзу, але досить часто в Англії.

### 13.4.3 Конструкція і геометрія черв'ячних фрез

Черв'ячні зуборізні фрези, які працюють методом обкатки, отримали широке поширення із-за наступних своїх переваг :

- висока точність обробки зубчастих коліс (до 6 ступеня точності)
- універсальність (однією і тією ж фрезою обробляють колеса - з різною кількістю зубів);
- висока продуктивність (безперервність процесу формоутворення).

Черв'ячні фрези можна класифікувати по ряду параметрів :

- за технологічним призначенням:
  - чистові (зазвичай цільні);
  - чорнові (зазвичай складені).
- по облаштуванню конструкції:
  - цілісні (мають найменші похибки);
  - збірні (складені, регульовані, паяні та інші).
- по виду кріплення на верстаті:
  - насадні (кріплять на оправці);
  - хвостові (мають конусний хвостовик 3:24).
- по кількості заходів гвинтової поверхні:
  - однозаходні (найбільш поширені);
  - багатозаходні (мають збільшенні похибки).
- по формі задньої поверхні зуба:
  - затиловані (зазвичай для ринкового покупця);
  - і гострозаточені (зазвичай у масовому виробництві).

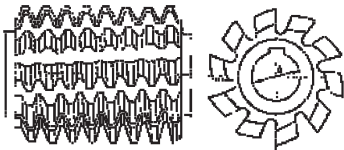


Рис. 13.15: Фреза цільна

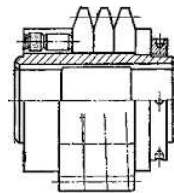


Рис. 13.16: Фреза з вставними зубами



Точність черв'ячних фрез регламентована державними стандартами. Класи точності чистових фрез для циліндричних коліс наступні:

Ступінь точності колеса	6	7	8	9	10	11
Клас точності фрези	AAA	AA	A	B	C	D

Основні конструктивні елементи черв'ячних зуборізних фрез подано на рис.13.15...13.18

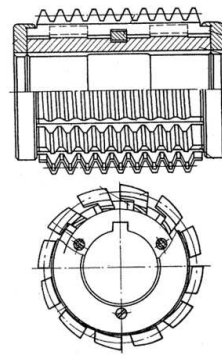
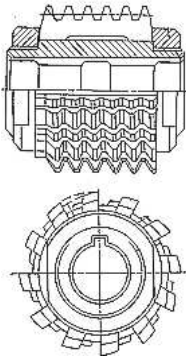


Рис. 13.17: Фреза з рейками

Рис. 13.18: Фреза з рейками на шпонці

Основним матеріалом для виготовлення черв'ячних зуборізних фрез є швидкорізальна сталь різних марок.

Напрями вдосконалення конструкцій черв'ячних фрез для циліндричних зубчастих коліс:

- створення збірних фрез;
- застосування твердого сплаву для зубів збірних фрез;
- вдосконалення геометрії фрез;
- застосування гострозаточених зубів.

### 13.5 Фрези для черв'ячних коліс

Фреза для черв'ячного колеса (рис.13.19) має бути копією черв'яка : її діаметр, крок і кут повинні відповідати тим же елементам черв'яка. На рис.13.20 зображено процес фрезерування черв'ячного колеса. Фреза 1 встановлена навпроти колеса 2 та обертається.

Заготовка колеса також обертається – маємо звичайну черв'ячну передачу, але замість черв'яка стоїть фреза.

Фрезерування черв'ячних коліс можна робити двома методами: з радіальною подачею, з тангенціальною подачею (рис.13.21).

**При радіальному** фрезеруванні (рис.13.21,а) колесо 1 у процесі оброблення переміщується до фрези (подача  $s$ ) доти, поки не наріже зуби колеса на повну глибину.

**При тангенціальному** фрезеруванні (рис.13.21,б) колесо 1 вже встановлено на повну глибину зубця, а фреза 2 “в'їжджає” в нього по дотичній (тангенціально).

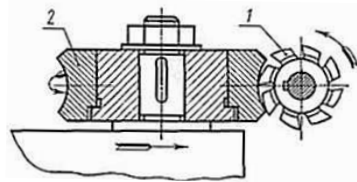
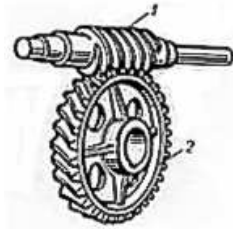


Рис. 13.19: Черв'ячна передача

Рис. 13.20: Нарізування колеса

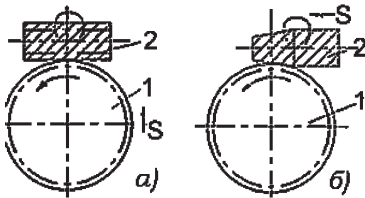


Рис. 13.21: Радіальне та тангенціальне фрезерування

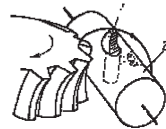


Рис. 13.22: Летючка

Фрезерування з тангенціальною подачею точніше, але для його здійснення в зубофрезерному верстаті потрібний спеціальний механізм - протяжно супорт.

Фрези для нарізання черв'ячних передач – досить дорогі. Тому у випадках одиничного виробництва замість фрези використовують так-звані “летючки” – фрезу з одним зубом. Їх продуктивність –

мінімальна. На оброблення одного колеса припадає декілька робочих змін. Окрім того, точність отриманого колеса дуже мала. Але у випадку потреби їх інколи застосовують в ремонтних цехах.

### 13.6 Довбачі

Довбач є зубчастим колесом<sup>18</sup>, але на відміну від останнього він має задній та передній кути (рис.13.23). Тому діаметри долбняка в перерізах на різній відстані від торця різні. Довбач в різних перерізах можна розглядати як набір тонких корегованих колесо з певним зміщенням початкового контура.

При цьому треба мати на увазі, що при незмінній відстані між осями заготовки і довбача, переточений довбач нарізує колесо з правильним евольвентним профілем зуба, але товщина зуба по початковому (ділильною) колу буде більшою.

Зближаючи осі довбача і нарізуваної заготовки, можна добитися отримання правильної товщини зуба колеса. Проте зміщення початкового контура допустиме в порівняно невеликих межах, і тому доибачі розраховують зазвичай на таке число переточувань, при якому величина похибок буде найбільша допустима, але незначна за абсолютною величиною.

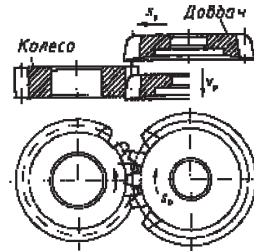


Рис. 13.23: Довбач  
робота

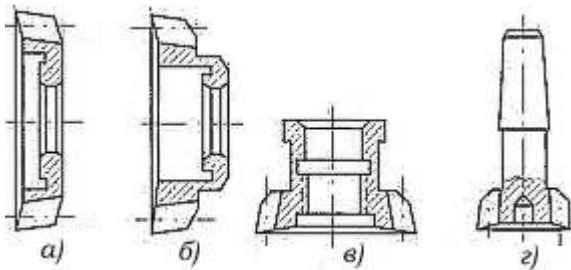


Рис. 13.24: Типи довбачів

<sup>18</sup>У давнину довбач називали “різальним колесом”

Основні типи довбачів які застосовують у сучасному інструментальному забезпеченні машинобудівного виробництва наведено на рис.13.24.

**Дисковий** довбач за рис.13.24,а. Це найпоширеніший за конструкцією довбач (друга назва – тарілчастий). Застосовують при обробленні коліс, у випадках коли є вільний простір для розташування інструменту.

**Чашковий** довбач за рис.13.24,б. Застосовують у випадках коли вільний простір для рухів інструменту – обмежений. Наприклад, при обробленні блоків із декількох коліс.

**Внутрішній** довбач за рис.13.24,в. Застосовують при обробленні зубчастих коліс що мають внутрішнє зачеплення.

**Хвостовий** довбач за рис.13.24,г. Застосовують при обробленні внутрішніх колес малого розміру.

Долбяки виготовляються трьох класів точності :

*АА* – для нарізування коліс 6 ступеню точності;

*А* – для нарізування коліс 7 ступеню точності;

*В* – для нарізування коліс 8 ступеню точності.

Долбяки є найбільш універсальними зуборізними інструментами, вони незамінні при обробці зубчастих коліс з внутрішнім зубчастим вінцем і при обробці блокових зубчастих коліс.

Точність обробки долбяками зазвичай вище за точність обробки черв'ячними фрезами, але продуктивність нижча.

### 13.6.1 Принципи конструювання довбача

Довбач можна розглядати як сукупність нескінченно великої кількості елементарних зубчастих коліс з позитивним, нульовим і негативним зміщенням початкового контура рейки і нескінченно малою товщиною (рис.13.25).

Для розрахунку долбяка приймається певний переріз *А-А*, віддалений від переднього торця на відстані *a*. У цьому перерізі (переріз *А-А*) профіль зубів відповідає стандартній рейці і співпадає з розмірами теоретично вірного зубчастого колеса. Цей пере-

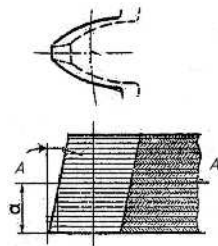


Рис. 13.25: Зуб довбача

різ називається початковим перерізом довбача.

Отже, довбач має теоретично точний профіль тальки в початковому січенні. Таким чином новий (не переточений довбач) обробляє зубчасте колесо з похибкою.

По мірі заточування довбача по передній поверхні, його передня поверхня наближається до початкового січення, при цьому похбка оброблення деталей поступово зменшується. В самому початковому січенні похибка дорівнює нулю.

Після подальших переточувань похибка оброблення деталі знову збільшується.

На практиці такі зміни означають наступне – перед тим як застосовувати довбач необхідно перевірити, чи можливо конкретним довбачем обробити конкретну деталь.

### **13.6.2 Особливості роботи довбача**

На відміну від черв'ячних зуборізних фрез довбач не є універсальним інструментом. Це пов'язано з тим, що форма евольвенти як самого довбача, так і нарізуваних ним коліс залежить від основного діаметру. Одночасно розташування евольвентної ділянки на різальній кромці довбача залежить від величини початкової відстані. Тому в певних умовах при обробці зубчастих коліс довбачами має місце наступне явище — підрізування ніжки або зрізування голівки зуба нарізованого колеса.

При нарізуванні довбачем з великим числом зубів, колеса з малим числом зубів, виникає небезпека підрізування ніжки зуба.

При нарізуванні довбачем з малим числом, зубів колеса про великим числом зубів, з'являється небезпека "підрізування" ніжки голівки зуба колеса.

Для усунення підрізування і зрізування необхідно виконати розрахунок долбяка на відсутність цього явища.

## **13.7 Шевери**

Шевери застосовують для остаточної обробки зубчастих коліс. Процес обробки є скобленням бічних сторін зубів колеса різальни-

ми кромками інструменту і називається шевінгуванням<sup>19</sup>. Обробка шевером відповідає кінематичній схемі за методом обкатки. По конструкції розрізняють наступні типи шеверів:

- дисковий шевер (що є найбільш поширеним);
- шевер рейка (простий у виготовленні, але не технологічний у застосуванні);
- черв'ячний шевер (для оброблення черв'ячних коліс);
- шевер кромки (для заокруглення гострих кромek колеса);
- дрібномодульний шевер (різновид дискового, відрізняється від нього наскрізними канавками на зубах);
- абразивний шевер.

Дисковий шевер (рис.13.26), це звичайне зубчасте колесо яке має підвищені точність і твердість.

Шевер-рейка (рис.13.27) це плоска зубчаста рейка набрана із окремих зубів.

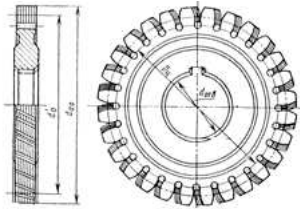


Рис. 13.26: Шевер дисковий

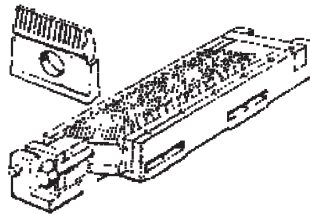


Рис. 13.27: Шевер рейка

Відмінністю цих інструментів від зубчастого зачеплення є форма їх бокових сторін (рис.13.28). Кожна бічна сторона зубу має канавки вздовж бічної поверхні. Ширина та глибина канавок знаходиться у межах 0,5...0,7 мм. Принцип роботи дуже простий – в процесі шевінгування бічні сторони зубців шевера і колеса ковзають одна по одній. Шевер вироблений із інструментальної сталі і має твердість вищу за твердість зубчастого колеса – тому від вискоблює бічну поверх-

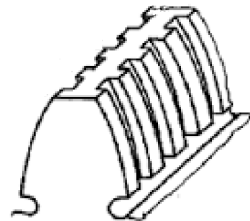


Рис. 13.28: Зуб шевера

<sup>19</sup>від англійського sheving –скоблити, голитись, бритись.

ню колеса. Таким чином шевер “виправляє” поверхню колеса.

Принцип роботи обох шеверів простий (рис.13.29) – зубчасте колесо коїться по шеверу. Але, прямозубе колесо котиться по косо-зубому шеверу і навпаки. За рахунок цього і виникає рух ковзання (рис.13.30) між колесом і шевером.

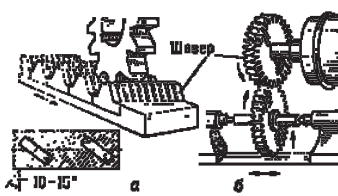


Рис. 13.29: Принцип роботи шевера

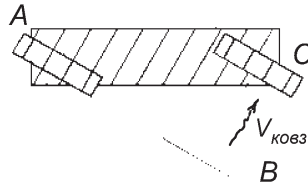


Рис. 13.30: Швидкість ковзання шевера

Історично першим з’явився шевер-рейка – технологічно його простіше виготовити. Тому розглянемо принцип роботи на прикладі шевера-рейки.

Прямозубе колесо котиться по косо-зубому шеверу (рис.13.30). Отже, якщо колесо на початку знаходиться у точці А, то воно повинно прокотитись у точку В. Але на верстаті колесо примусово котять у точку С. За рахунок цього “примусового” руху і виникає додатковий рух ковзання із швидкістю  $V_{\text{ковз}}$ .

Дисковий шевер є інструментом, основою якого служить кореговане зубчасте колесо. Швидкість цього відносного ковзання і є швидкістю різання. Абсолютна величина  $V_{\text{ковз}}$  залежить від кута схрещування  $\beta$  осей шевера і заготовки. Зазвичай кут схрещування становить 10...15°.

Основними конструктивними елементами дискового шевера є:

- діаметр діляльного кола по торцю;
- діаметр основного кола по торцю;
- торцевий модуль, який необхідно розраховувати, враховуючи, що стандартний модуль - в нормальному перерізі шевера;
- число зубів;
- ширина шевера.

Для поліпшення роботи шевера профіль його зубів коригують,

тоді спотворення, що вносяться в профіль зуба колеса із-за різних швидкостей на різальних кромках шевера, усуваються. Величини відхилень встановлюються експериментальним шляхом. При роботі шевера - рейки процес шевінгування відбувається аналогічно.

Черв'ячний шевер - це за усіма параметрами точна копія черв'яка, що знаходиться в зачепленні з оброблюваному черв'ячним колесом. Черв'ячний шевер може мати профіль архімедова, евольвентного або конволютного черв'яка, це дозволяє фінішну обробку черв'ячних коліс здійснювати дуже точно.

Різальні кромки черв'ячного шевера утворюються за рахунок канавок на бічних сторонах витків черв'яка, вони невеликі і можуть мати різні напрями для регулювання утворення стружки. Останнім часом для чистової обробки загартованих зубчастих коліс все більшого поширення набувають абразивні шевери, що є зубчастим колесом з відповідного матеріалу.

**Переваги** шевера – дуже короткий час обробки (10...20 секунд) та висока точність формоутворення на фінішній операції.

**Недоліки** шевера – процес обробки дуже не стабільний, досить випадкового подовження часу обробки на декілька секунд і зубчасте колесо замість покращення буде зіпсовано.

### 13.8 Конічні зубчасті колеса

Конічні зубчасті колеса застосовуються для передачі обертання між валами, осі яких перетинаються. Вони мають прямі або криволінійні зуби. У відносному русі конічних коліс аксоїдами являються конічні поверхні, що перекочуються один по одному без ковзання.

Конічні колеса досить специфічне зубчате зачеплення. В конічному колесі всі лінії, що окреслюють його поверхню (профіль), сходяться в одній точці (рис.13.31). Через це і при зачепленні одного конічного колеса з іншим їх зачеплення можна розглядати як зачеплення кількох конусів. (рис.13.32).

Зверніть увагу на рис.13.32 де зображено два типи зачеплення – внутрішнє “*вн*” та зовнішнє “*зов*”. В обох випадках всі лінії профілю коліс сходяться в одній точці.

Найбільше поширення в машинобудуванні отримали конічні зубчасті колеса наступних типів :

- прямозубі з радіальним напрямом зубів;



- з криволінійними зубами;
- з круговими зубами.

Прямозубі конічні зубчасті колеса обробляються:

- методом копіювання :
  - дисковими і пальцевими модульними фрезами;
  - круговими протяганнями;
- а також методом обкатки :
  - зубостругальними різцями.
  - різцевими головками (фрезами), причому і різці і голівки є односторонніми і працюють в парі, для одночасної обробки обох сторін зуба колеса.

Нарізування конічних коліс низької точності може робитися фасонними модульними фрезами, дисковими або пальцевими. В процесі обробки заготовка колеса нерухома, а фреза, що обертається, має рух подачі уздовж лінії основи ніжки зуба.

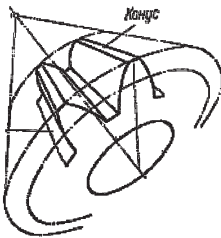


Рис. 13.31: Конічне колесо

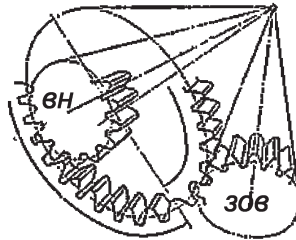


Рис. 13.32: Конічне зачеплення

Після обробки однієї западини заготовка обертається на один зуб і відбувається нарізування наступної западини зубів. Дискові фрези для чорнового нарізування конічних прямозубих коліс мають прямолінійний профіль, або профіль, побудований по середньому перерізу зуба. Ширина їх вершинної кромки приймається рівній ширині дна западини у вузькій її частині з урахуванням залишення припуску на чистову обробку.

Попередня чорнова обробка дисковими фрезами великогабаритних конічних коліс дозволяє підвищити продуктивність і забезпечити доцільне використання спеціальних зуборізних верстатів тільки для чистового нарізування коліс. За відсутності спеціальних зуборізних

верстатів робиться чистове нарізування зубів конічних коліс фасонними модульними фрезами в один або два проходи.

При обробці в один прохід обидві сторони западини зуба колеса формуються одночасно. При обробці в два проходи робиться послідовно чистове нарізування однієї сторони усіх зубів колеса, а потім при формується друга сторона зубів. Розрахунок профілю даних фрез ведеться за профілем еквівалентних циліндричних коліс, що відповідають середньому перерізу зуба конічного колеса.

Конічні колеса із прямим зубом обробляють за допомогою спеціальних різців. Сам процес оброблення подано на рис.13.33. Сам різець подано на рис.13.34.

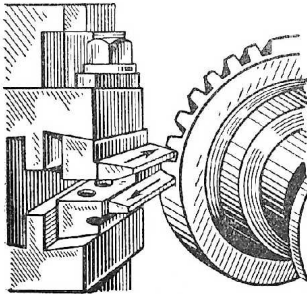


Рис. 13.33: Стругання конічного колеса

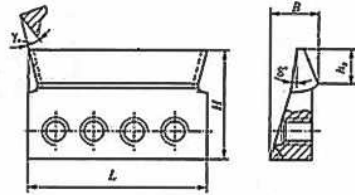


Рис. 13.34: Різець для конічних коліс

В процесі обробки різці мають зворотно-поступальний рух та одночасно переміщуються по вертикалі. Кінематична схема формоутворення подана на рис.13.35. Як бачимо, у процесі формоутворення різці мають рух який імітує рухи обкочування рейси та колеса.

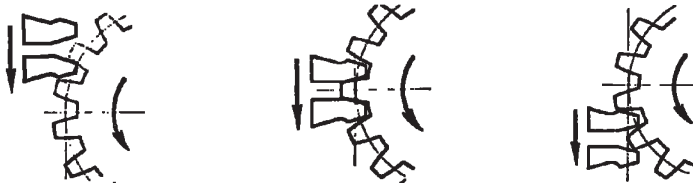


Рис. 13.35: Кінематика зуборізних різців

Зубострогальні різці використовувані для обробки прямозубих конічних коліс методом обкатки, є призматичним тілом з певною геометрією і різьбовими отворами для кріплення у верстаті. Для утворення заднього кута при роботі різців, котрі працюють в парі, встановлюються на спеціальній відкидній державці. Заточуються різці по передній грані, заточування має бути дуже точним, інакше з'являються спотворення в профілі зуба нарізованого колеса.

Конічні колеса з круговим зубом мають значні переваги над колесами із прямим зубом – вони працюють більш плавно і можуть передавати більші навантаження. Для їх виготовлення застосовують різцеві головки (рис.13.36). Кінематична схема роботи різцевих головок така (рис.13.37).

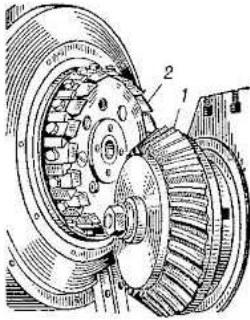


Рис. 13.36: Різцева головка

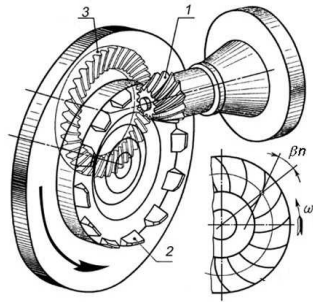


Рис. 13.37: Кінематика різцевої головки

Заготовка 1 колеса обертається навколо своєї осі. Різцева головка 2 має два рухи. Перший – обертальний навколо своєї осі. Це рух різання. Другий – поступальний, він імітує рух обкочування. Зуборізна різцева головка для обробки конічних зубчастих коліс з круговими зубами є торцевою фрезою спеціального призначення.

Головки малих розмірів (до 80 мм) виготовляються цілісними, великих (100...1000 мм) - збірними. Залежно від характеру обробки головки діляться на чорнові і чистові, правого і лівого обертання, односторонні, двосторонні і трибічні.

Одним з найбільш продуктивних способів обробки конічних прямозубих коліс є кругове простягання їх зубів. В процесі обробки западини зуба заготовля залишається нерухомою. Протягання ж, обертаючись з постійною швидкістю, в той же час отримує зворотно-

поступальний рух подачі. Даний інструмент є диском, на периферії якого закріплені блоки із затилованими зубами. Перші блоки є чорновими. Вони служать тільки для попереднього прорізання западини зуба колеса. Тому розміри їх різальних кромок повинні вибиратися з урахуванням сприятливої схеми різання матеріалу западини зуба із залишенням необхідного припуску на чистову обробку, яка здійснюється чистовими зубами.

При чорновій обробці протягання здійснює рух подачі уздовж нарізуваної западини в напрямі від вузького кінця зуба до широкого, а при чистовому нарізуванні вона подається у зворотному напрямі з постійною швидкістю. В результаті складання обертального і поступального руху протягання відносно заготовлі здійснюватиме рух обкатки, при якому початкове коло До, пов'язана з протяганням, без ковзання котитиметься по початковій прямій, пов'язаній із заготовкою.

Нарізування кожної западини зуба робиться за один оборот протягання. Після закінчення обробки западини зуба відбувається поворот заготовлі на один зуб, у той час коли повз заготовлю проходить сектор протягання, вільний від зубів. В результаті забезпечується безперервне обертання інструменту при обробці усіх западин зубів колеса.

При відповідній конструкції інструменту даний спосіб дозволяє теоретично точно обробляти конічні колеса будь-якого профілю, у тому числі і евольвентні.

### **13.9 Питання для самоконтролю**

1. Охарактеризуйте евольвентне зачеплення
2. Охарактеризуйте циклоїдальне зачеплення
3. Охарактеризуйте зачеплення Новікова
4. Що таке евольвента?
5. Охарактеризуйте конструкцію дискових модульних фрез.
6. Охарактеризуйте конструкцію пальцевих модульних фрез.
7. За яким принципом формоутворення працюють дискові та пальцеві модульні фрези?
8. Охарактеризуйте конструкцію черв'ячних зуборізних фрез.
9. За яким принципом формоутворення працюють черв'ячні фрези?

10. Охарактеризуйте конструкцію стандартного довбача.

## **Література**

- [1] Калашников А.С. Технология изготовления зубчатых колес. - М.: Машиностроение, 2004. - 480 с.
- [2] Кирсанов Г.Н. Проектирование инструментов. Кинематические методы. - М.: Машиностроение, 1984. - 70 с.
- [3] Кирсанов Г.Н. и др. Руководство по курсовому проектированию металлорежущих инструментов. - М.: Машиностроение, 1986. - 288 с.
- [4] Производство зубчатых колес: Справочник / Под общ. ред. Б.А. Гайца. - М.: Машиностроение, 1990. -463 с.
- [5] Родин П.Р. Основы проектирования режущих инструментов. - К.: Вища шк., 1990.-423 с.
- [6] Люткевич Е.Г. Расчет зуборезного инструмента / Е.Г.Люткевич, А.И.Волчков. Новочеркасск. НТИ, 1978.

Вправи народжують  
майстерність.

*Тацім*

## **14 Шліцеві фрези**

Методом обкатки можна обробляти не лише евольвенті зубчасті колеса, але і інші зубчасті вироби [1]. Це шліцеві валики, храпові колеса, багатогранні вироби, зірочки для ланцюгів і так далі. Для обробки цих виробів методом обкатки найбільше поширення отримали черв'ячні шліцеві фрези, призначені для обробки лицьових валів, що мають прямолінійний профіль.

### **14.1 Черв'ячна шліцева фреза**

Основу конструкції черв'ячної шліцевої фрези складає черв'ячна фреза, що працює методом обкатки і має усі основні параметри, що відповідають черв'ячній фрезі для обробки зубчастих коліс. Особливість конструювання черв'ячних шліцевих фрез полягає у визначенні профілю зуба фрези. Зовнішній вигляд фрези [3] для утворення шліцевого валу подано на рис.14.1

Черв'ячні фрези відносяться до інструменту з точковим контактом між інструментальною поверхнею та поверхнею деталі і забезпечують високопродуктивну обробку деталей в межах 9-12 квалітетів.

Під час роботи черв'ячні фрези здійснюють два рухи подачі. Перший, функціонально пов'язаний з головним рухом певним значенням передавального відношення верстатної пари інструмент-деталь. Цей рух імітує кочення деталі відносно інструменту. При схемі обробки, яка застосовується при роботі черв'ячних фрез, початкове коло пов'язане з деталлю кочиться по початковій прямій що зв'язана з фрезею.

В результаті цієї подачі точка дотику різальної кромки інстру-

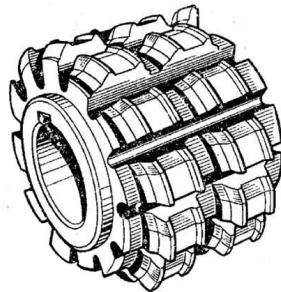


Рис. 14.1: Шліцева фреза

менту та бічної сторони оброблюваного зуба деталі переміщаючись по останній відтворює на ній активну лінію, яка для лезових інструментів має дискретний характер. Дискретність контакту інструменту та деталі виникає тому, що виробляюча інструментальна поверхня черв'ячної фрези (інструментальний черв'як) не є цільною поверхнею. Вона реалізована сукупністю різальних кромок, які дискретно лежать на інструментальній поверхні. Саме дискретність інструментальної поверхні, утвореної сукупністю різальних кромок, обумовлює появу огранки на обробленій поверхні деталі.

Другий рух подачі виконує переміщення поверхонь деталі "самих по собі" у результаті якого повністю відтворюються бічні сторони деталі. Цей рух призводить до того, що інструмент послідовно переміщується вздовж осі оброблюваної деталі.

## 14.2 Радіус початкового кола

Величина радіусу початкового кола  $r_n$  має суттєвий вплив на профіль різальної кромки інструмента та умови формоутворення [2], тому вона не може бути прийнята довільною.

**Зауваження.** При графічному профілюванні не враховують значення допусків на виготовлення деталі через те, що похибка графічних побудов значно більша величини допуску виготовлення.

На величину радіусу початкового кола впливають (рис. 14.2):

– відстань від кінцевої точки (точка  $A$  на кресленні) прямолінійної ділянки профілю деталі до її центру. Будемо позначати її як  $R_{max}$  та говорити про найбільший радіус прямолінійного профілю;

– радіус кола, яке вписано у геометричну фігуру утворену прямолінійним профілем деталі. Будемо позначати його як  $a$  та говорити про довжину центральної нормалі до прямолінійного профілю деталі. Отже, щоб знайти довжину центральної нормалі  $a$  необхідно з центру деталі опустити нормаль на лінію профілю деталі;

– загальна геометрична форма торцевого профілю деталі. Вона має найбільший вплив на профілювання.

Розглянемо більш детально параметри, що впливають на величину радіусу  $r_n$  початкового кола.

Точки  $A$  та  $B$  це кінцеві точки прямолінійного профілю деталі. Через них проходить пряма  $m-m$ . Відрізок  $ON$  – це нормаль проведена

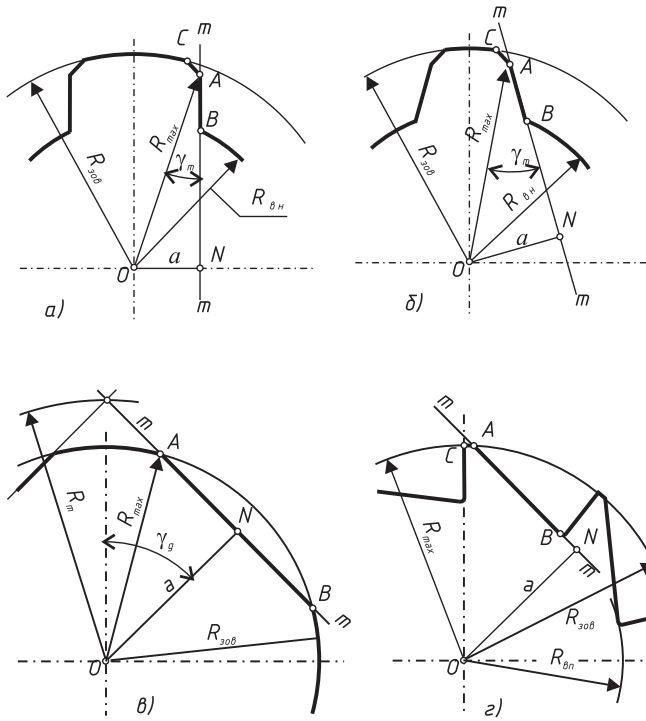


Рис. 14.2: Торцевий профіль деталі



до прямої  $m-m$  через точку  $O$  центру деталі. Отже довжина відрізка  $ON$  і є центральна нормаль  $a$ . Радіус  $R_{max}$  це найдальша відстань від центру  $O$  деталі до зовнішньої точки  $A$  прямолінійної ділянки профілю  $AB$ . Відстань між точками  $C$  та  $A$  це фаска, її наявність не обов'язкова.

Для деталей шліцьового профілю з паралельними бічними сторонами (рис.14.2,а) радіус початкового кола  $r_{\Pi}$  визначають емпіричною за залежністю

$$r_{\Pi} = R_{max} \sqrt{1 - 0,75 \sin^2 \gamma_m},$$

Для шліцьових деталей, що мають трикутний профіль (рис. 14.2,б) величину початкового кола  $r_{\Pi}$  визначають як

$$r_{\Pi} = \sqrt{R_{max}^2 - 0,75a^2}$$

Де  $a$  – це довжина центральної нормалі. Зауважимо, що наведена формула справедлива тільки для шліців з прямою боковою стороною. Евольвентні шліці розраховують за іншими залежностями.

Для багатогранних валів профіль (рис. 14.2,в) величину початкового кола  $r_{\Pi}$  визначають як

$$r_{\Pi} \geq R_{max} \sqrt{1 - 0,75 \sin^2 \gamma_g}$$

**Зауваження.** Отримана за наведеними залежностями величина радіусу початкового кола  $r_{\Pi}$  – є найменш допустимою величиною. Тому у процесі подальших розрахунків вона може бути округлена у більшу сторону. У загальному випадку єдиною умовою, що впливає на розмір початкового кола є те, що нормаль до будь-якої точки профілю деталі повинна перетинати початкове коло.

### 14.3 Графічне профілювання

Графічні методи профілювання найбільш наочні, але й найменш точні. У той же час вони дозволяють детально простежити весь процес формоутворення. При застосуванні графічних методів побудови доцільно виконувати у збільшеному масштабі, приміром 5:1...10:1.

### 14.3.1 Метод послідовних положень

Розглянемо найбільш класичний метод профілювання – метод послідовних положень. Зміст цього методу полягає в тому, що відомий профіль (у нашому випадку це багатогранний вал) у процесі профілювання займає ряд послідовних положень. Огинаюча до яких і буде шуканим (спряженим) профілем.

**Застереження.** При графічному профілюванні похибка кутових величин збільшується одночасно із збільшенням масштабу побудов. Тому доцільно, там де це можливо, замінювати кутові побудови лінійними. Наприклад, відкладати не кут, а катети трикутника. Це зменшить похибку графічних побудов у декілька разів.

Загальна похибка визначення огинаючої буде тим менша, чим менший крок між послідовними положеннями відомого профілю. Вважається доцільним приймати таку кількість дискретних положень, яка забезпечує повну побудову шуканого профілю за 20...25 переходів на один геометрично закінчений елемент. Під геометрично закінченим елементом мається на увазі зуб, канавка, виступ, або западина профілю. Відповідно до цього і треба вибирати дискретність послідовних положень відомого профілю.

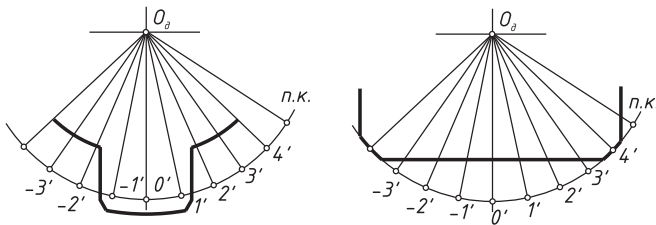


Рис. 14.3: Шаблон профілю деталі

При застосуванні методу послідовних положень необхідно виготовити два шаблони – шаблон відомого профілю та шаблон на якому виконують графічні побудови. На рис.14.3 подано шаблони шлицьового валу та шаблон валу, що має чотири сторони.

Шаблон необхідно виготовити із твердого паперу, або картону. При застосуванні комп'ютерних графічних систем шаблон доцільно утворити як окремий шар. Це дає змогу виконувати обкатку, як про-

цес дублювання об'єктів з одночасним поворотом та переміщенням шару.

Послідовність побудов шаблону така:

- прийняти доцільний масштаб графічних побудов;
- розрахувати та викреслити початкове коло  $r_n$ ;
- викреслити частину відомого профілю деталі. Загалом можна викреслити будь-яку частину деталі, але доцільним є креслення симетричної частини, наприклад, зубця, або западини між сусідніми зубцями. На наведених рисунках відомий профіль деталі подано товстою лінією;
- поділити початкове коло  $r_n$  на рівні відрізки та пронумерувати їх, як подано на прикладі. Доцільно брати за нульову позначку таку, що поділяє профіль деталі симетрично. Хоча у загальному випадку це не має будь якого значення, однак при симетричній побудові менша імовірність помилки;
- вирізати шаблон по контуру таким чином, щоб на ньому залишилась точка центру деталі  $O_d$ .

### Профілювання.

Усі подальші побудови виконують на шаблоні побудов у такій послідовності:

- накласти шаблон відомого профілю деталі на шаблон побудов (рис.14.4,а) та сумістити точку  $O'$  шаблону деталі з точкою  $O$  шаблону побудов.
- сумістити між собою перпендикуляр до початкової прямої та радіусний луч, як подано на прикладі; – обвести шаблон олівцем;
- послідовно сумістити відповідні позначки на початковому колі та на початковій прямій (на рис.14.4,б подано випадок для позначки 4) та обвести шаблон;

**Зауваження.** Оскільки на вирізаному шаблоні деталі частина початкового кола буде зрізана, то шаблон треба розташовувати так, щоб точка центру деталі  $O_d$  знаходилась на лінії центрів  $o-o$ .

Результатом дій буде графічна сукупність кривих за рис.14.5 на якому товстою лінією позначено початкове положення профілю деталі. Огинаюча до послідовних положень  $i$  є профіль черв'ячної фрези для утворення заданого шлицьового валу.

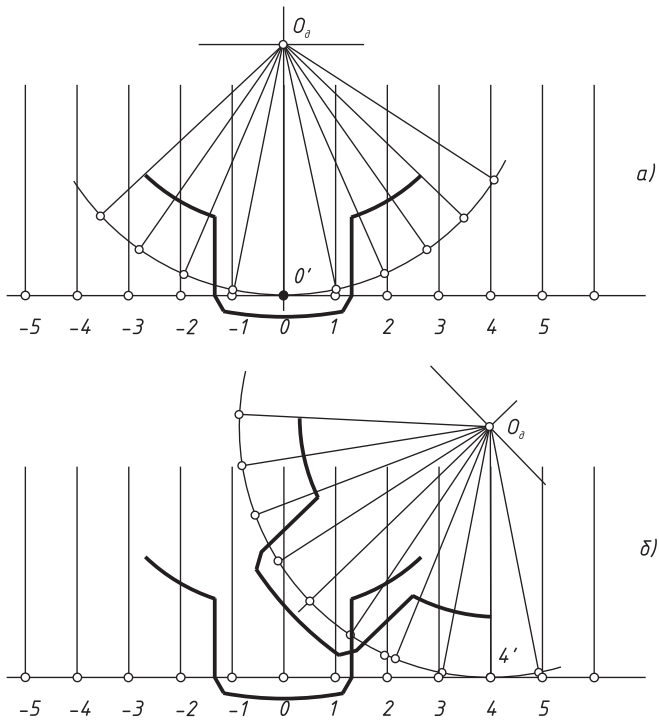


Рис. 14.4: Послідовність побудов

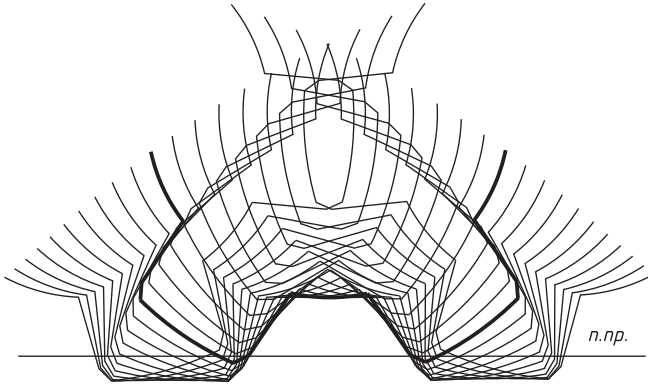


Рис. 14.5: Результат профілювання

**Застереження.** При застосуванні комп'ютерних графічних систем найчастішою помилкою є різний масштаб по горизонталі та вертикалі, який виникає при трансформуванні креслень в ручному режимі.

Сучасні комп'ютерні системи дозволяють значно спростити графічне профілювання за методом послідовних положень. Немає сенсу ділити початкове коло на відрізки та суміщати поділки. Весь процес обкатки зводиться до двох операцій. Перша, це лінійний крок відомого профілю деталі вздовж прямої. Та другий, це поворот відомого профілю на відповідний кут. Єдине що треба зробити – розрахувати співвідношення лінійного кроку та кута повороту обкатки. Все інше можливо виконати за рахунок повторення команд дублювання.

#### 14.3.2 Метод загальних нормалей

Метод загальних нормалей засновано на положенні, що в точці контакту деталь та інструмент мають загальну нормаль. Цей метод значно простіший ніж метод послідовних положень, але він менш наочний та не дозволяє автоматизувати процес графічних побудов. Окрім цього, шуканий профіль знаходять не як огинаючу до кривих, а як лінію що проходить через послідовність точок.

**Підготовчі побудови.**

Насамперед треба викреслити початкове положення основних елементів у такій послідовності:

- визначити радіус початкового кола  $r_n$  та викреслити його і початкову пряму, як подано на рис.14.6;
- викреслити коло радіуса  $a$  (дивись рис.14.3);
- на початковому колі та на початковій прямій позначити поділки однакової довжини. Довжина дуги повинна дорівнювати довжині прямого відрізка. Кількість поділок у межах 7...10. Загалом, чим більше – тим краще;
- провести з поділок початкового кола, дотичні до центрального кола радіуса  $a$ .

**Зауваження.** Поділки на початковому колі необхідно проводити так, щоб відстань від останньої поділки до початкової прямої повинна бути трохи більшою за висоту профілю деталі.

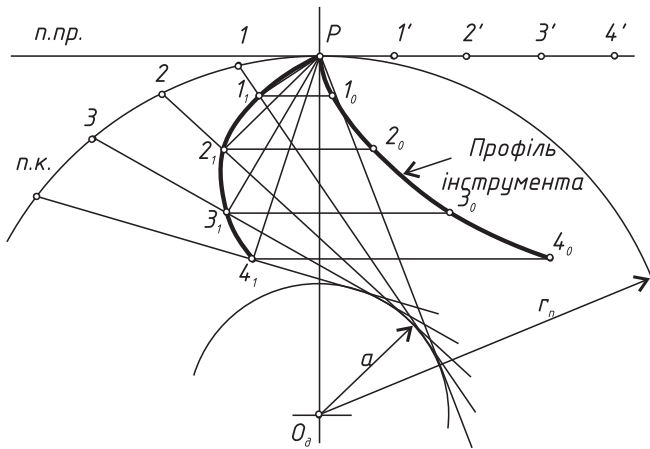


Рис. 14.6: Профіль інструменту

**Побудова лінії зачеплення.**

Лінію зачеплення будують у такій послідовності:

- з точки  $P$  (полюс миттєвого обертання) опустити перпендикуляри на дотичні до кола  $a$ . Отримані точки позначити з індексом  $1$ ;

- через отримані точки провести плавну криву, яка і буде лінією зачеплення.

**Зауваження.** Отримана лінія зачеплення повинна бути плавною кривою. Якщо вона має "хвилястий" характер, то це свідчить про те, що перпендикуляри опущені з полюсу  $P$  насправді не є перпендикулярні до відповідних ліній.

### Профіль інструмента.

Профіль інструмента визначають у такій послідовності:

- з кожної точки лінії зачеплення провести горизонтальну лінію, довжина якої дорівнює відповідній поділці на початковій прямій. Наприклад, відрізок  $2_1 2_0$  дорівнює відрітку  $P_2'$ ;
- отримані точки позначити з індексом  $0$ . Це точки, що належать профілю інструмента;
- через отримані точки провести плавну криву, яка і буде профілем інструмента.

**Зауваження.** Отримана крива профілю інструмента повинна мати плавний характер. Для фрези, що обробляє шліцьовий вал, вона – майже коло.

## 14.4 Питання для самоконтролю

1. Назвіть кінематичну схему за якою працює черв'ячна фреза.
2. Що таке початкове коло?
3. Опишіть метод графічного профілювання.
4. В чому суть методу послідовних положень?
5. Чи може бути початкове коло більше ніж отримане за розрахунками?
6. В чому полягає суть методу загальних нормалей?
7. Що таке лінія зачеплення?
8. Що таке полюс зачеплення?
9. Що впливає на розмір початкового кола?
10. Як розташована початкова пряма?

## Література

- [1] Иноземцев Г.Г. Проектирование металлорежущих инструментов. - М.: Машиностроение, 1984.-272 с.
- [2] Кирсанов Г.Н. и др. Руководство по курсовому проектированию металлорежущих инструментов. - М.: Машиностроение, 1986. - 288 с.
- [3] Справчник инструментальщика-конструктора. Под ред. Климова В.И. М.: Машиностроение.1958, – 608 с.



Як багато подій вважалось  
неможливими, поки вони не були  
здійснені.

*Пліній Старший*

## 15 Автоматизоване виробництво

Ефективність автоматизованого виробництва значною мірою залежить від вживаного інструменту, ефективності його, надійності в роботі, скорочення часу на заміну і регулювання [1, 2]. У зв'язку з цим до інструментів для автоматичних ліній, агрегатних верстатів, оброблювальних центрів, верстатів з програмним управлінням пред'являються особливі вимоги:

- високі різальні властивості за рахунок застосування сучасних - інструментальних матеріалів і оптимальної геометрії;
- конструктивне забезпечення мінімальних витрат часу на регулювання і заміну інструменту;
- створення умов для оптимального формування і видалення стружки із зони різання;
- забезпечення стабільності розмірів при заданому періоді стійкості інструменту.

### 15.1 Продуктивність інструменту

Кількість інструментів в автоматизованих верстатах і лініях досягає декількох десятків і навіть сотень штук. Вихід хоч би одного з них з ладу спричиняє за собою зупинку усього виробництва. Потрібна висока різальна здатність інструментів.

Для інструментів автоматизованого виробництва необхідно застосовувати найміцніші сучасні інструментальні матеріали. Це в першу чергу тверді сплави, високоякісні швидкорізальні сталі, композитні інструментальні матеріали на основі ельбору, зносостійкі мінерало-керамічні матеріали.

Велику роль грає правильний вибір геометричних параметрів різальної частини інструментів. Для конкретних випадків слід оптимізувати геометрію інструменту. Складність оптимізації, що проводи-

ться зазвичай експериментально, виправдана отримуваною ефективністю використання інструментів.

Істотний вплив на працездатність інструментів робить метод кріплення змінних різальних елементів. Рациональнішим є механічне кріплення. Доцільно використовувати багатогранні змінні пластини. Ефективним засобом підвищення стійкості служить подача ЗОР в зону різання під тиском 80...90 бар. Особливо це важливо для таких інструментів як свердла.

Істотним методом підвищення продуктивності інструментів є застосування комбінованих інструментів. Найбільш характерний цей напрям при проектуванні інструментів для обробки отворів : свердло-зенкер, зенкер-розвертка, багатоступінчаста розвертка і так далі.

### Регулювання інструменту

Для скорочення втрат часу застосовується інструмент який можливо настроювати на потрібний розмір безпосередньо на верстаті, під час його роботи. Цей інструмент має елемент (зазвичай гвинт) для компенсації зносу або неточності виготовлення і налаштування його робиться поза верстатом.

Метод придатний як для одиничних інструментів, так і для багаторізових наладок з використанням блокових різцетримачів.

Важливим резервом заощадження часу є використання швидкозмінних патронів і методів кріплення інструментів на верстатах. Налаштування інструментів поза верстатом застосовується для найрізноманітніших інструментів: борштанг, фрез, протяжок і так далі.

Збільшення розмірної стійкості інструменту можна забезпечити за рахунок періодичного оновлення його різальних лез : застосування багатогранних пластинок твердого сплаву, використання чашкових різців і різців для ротаційного точіння.

Підвищення стійкості черв'ячної фрези здійснюється за рахунок

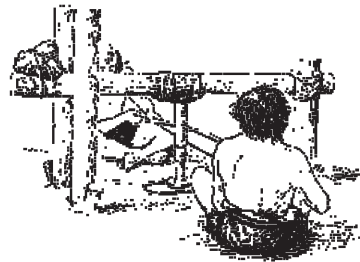


Рис. 15.1: Свердлувальний верстат з подвійним приводом

її пересування уздовж осі на величину осьового кроку. Ефективним засобом скорочення часу на установку інструменту є можливість швидкої заміни. Широке застосування мають типові конструкції швидкозмінного кріплення різців як окремих, так і у блоці. У необхідних випадках застосовують автоматичну заміну інструментів.

### **Відведення стружки**

Для формування і відведення стружки застосовуються різці із засобами її подрібнення у вигляді поріжків, лунок, накладних стружкоколів, екранів і так далі. Заслужують на увагу пристрою для кінематичного дроблення стружки за рахунок періодичних коливань різця у напрямі подачі. На кромках інструменту що працює на автоматах, для цієї мети виконують канавки певної форми і розмірів. При використанні ротаційних різців на їх леза наносяться спеціальні канавки або насічка.

При обробці отворів ефективним методом видалення стружки являється вимивання її із зони різання, що подається під тиском ЗОР.

### **Стабільність розмірів**

При експлуатації автоматизованого устаткування важливо знати момент необхідної зупинки його для заміни інструменту. Для цієї мети потрібна сигналізація про стан інструменту. Існують різні конструкції пристроїв, головним чином електромеханічні і електронні, які дозволяють отримати інформацію про необхідність заміни інструменту.

Початковими даними для таких пристроїв служить зміна сил різання у зв'язку із затупленням або поломкою інструменту, або зміни розмірів оброблюваної деталі.

Останнім часом знаходять застосування адаптивні системи автоматизованої обробки, в яких при зміні розмірів оброблюваної деталі здійснюється автоматичне налаштування інструменту.

## **15.2 Автоматизація виробництва**

Основним напрямом розвитку сучасного машинобудування є автоматизація серійного і дрібносерійного виробництва з метою під-

вищення продуктивності праці в умовах розширення номенклатури виробів, що випускаються, і скорочення термінів їх змінюваності. Одним з найважливіших досягнень сучасного машинобудування є розробка і промислове освоєння гнучких виробничих систем (ГВС).

Вони представляють перспективний і основний напрям автоматизації галузей машинобудування з серійним і дрібносерійним виробництвом. Поява ГВС відповідає об'єктивним вимогам машинобудування, що розвивається, в частині підвищення продуктивності праці при одночасному розширенні номенклатури виробів, що випускаються, і скороченні термінів їх змінюваності [3, 4].

Останнім часом область раціонального використання ГВС поширюється як у бік одиночного виробництва, так і масового. Цьому сприяє, зокрема, і ті, що у міру розвитку і вдосконалення технічних засобів, використовуваних в ГВС (особливо засобів управління і обчислювальної техніки), зменшується негативний вплив таких чинників, як високі капітальні витрати на ГВС і їх недостатня надійність. Звичайно, одні і ті ж ГВС не можуть ефективно використовуватися в різних умовах виробництва, і технічні рішення

для одиночного, серійного і масового виробництва мають бути різними. Але в усіх випадках зберігаються характерні особливості ГВС : гнучкість, об'єднання окремих технологічних агрегатів за допомогою транспортних і інформаційних зв'язків, широке використання ЕОМ для управління виробничими і технологічними процесами на усіх рівнях.

До останнього часу основна увага при розробці ГВС приділялася питанням їх технічного забезпечення, що було виправдано на перших етапах створення і впровадження ГВС. Проте, вже перший досвід експлуатації показав, що розкрити потенційні можливості ГВС і забезпечити їх максимальну ефективність можна тоді, коли технічному проектуванню ГВС передують глибокі технологічні розробки.

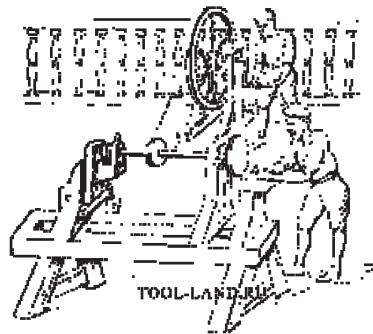


Рис. 15.2: Токарний верстат торцевого різблення

Недосконалість технологічних рішень не може бути компенсована технічними засобами, навіть найсучаснішими.

Новизна технологічних досліджень і розробок передусім полягає в щонайширшому використанні у виробництві засобів обчислювальної техніки у складі комп'ютерного інтегрованого виробництва. Це перед'являє підвищені вимоги до технологічності конструкції виробів, методики проектування технологічних процесів, а також до складу технологічного устаткування і технологічного оснащення ГВС. Використання ручних операцій для підготовчих, завершальних, контрольних, термічних робіт перериває автоматичний цикл виробництва і знижує економічну ефективність ГВС.

Для реалізації принципу завершеності необхідно розширювати склад устаткування, що вбудовується в ГВС. Наприклад, за наявності в технологічному процесі проміжної операції термічної обробки може виявитися доцільним включити до складу ГВС відповідне спеціальне устаткування, продуктивність якого відповідає вимогам ГВС.



Рис. 15.3: Московський токарний верстат

Розробки нових уніфікованих методів обробки і контролю виробів, наприклад, лазерних технологій і устаткування на їх базі дозволяють утілити принцип завершеності з найбільшою повнотою.

Одне з основних і найбільш складних завдань технології ГВС полягає в досягненні "безлюдності". Близьке до неї і завдання створення технології, при якій не вимагається проводити налагоджувальні роботи безпосередньо на робочих позиціях. Це відноситься як до основного технологічного процесу (відладці режимів обробки, числа проходів, траєкторії інструменту), так і до допоміжних (наприклад, програмуванню траєкторії руху промислових роботів).

Для традиційних виробничих систем відладка технологічного процесу є необхідним етапом. У ГВС відладка технологічного процесу небажана, але допустима, оскільки змінюваність номенклатури мала. Для широко номенклатурних ГВС, об'єктів виробництва, що ха-

рактизуються частою зміною, тривалі періоди відладки процесу призводять до значного зниження ефективності.

Рішення усіх цих завдань, від яких залежить ефективна робота ГВС, пов'язане з великими труднощами і можливо тільки при реалізації ком-плекса заходів, заснованих на новітніх технологічних розробках і максимальному використанні можливостей технічних засобів ГВС. Найбільш реальним шляхом є стабілізація відхилень вхідних технологічних параметрів ГВС наступними способами: розробкою і вдосконаленням технологічних процесів отримання заготівель і інструменту із стабільними технічними характеристиками; зменшенням розкиду параметрів устаткування і оснащення. Вже зараз багато що зроблене для вирішення цих завдань, особливо в області створення інструменту.

Проте забезпечити технологічну надійність ГВС тільки такими способами навряд чи можливо. Необхідно розробляти нові методи проектування технологічних процесів і управління ними. В умовах відсутності контролю з боку операторів в основі цих методів повинна лежати широка інформаційна забезпеченість, а це пов'язано в першу чергу з системами активного контролю і широкої діагностики різального інструмента на усіх етапах його використання [5].

Нині для контролю стану процесів обробки у виробничих умовах традиційно використовують лише силові параметри процесу, температуру в зоні обробки, низькочастотні вібрації, хоча перспективні також оптичні, акустичні, електромагнітні і електронно-емісійні методи. Проте рівень теоретичних і експериментальних досліджень в цих областях дозволяє оцінювати, як правило, окремі (в основному, геометричні і силові) параметри процесів у вузькому діапазоні зміни умов. Не існує доки технологічного обґрунтування необхідної сукупності контрольованих параметрів процесів обробки широкої номенклатури деталей, ще слабо досліджені фізична природа хвилевих

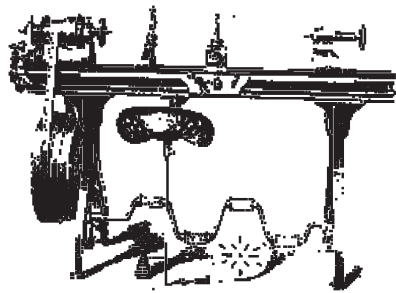


Рис. 15.4: Токарний двопедальний підвищеної зручності (з сидницею)

процесів (акустичних, електромагнітних та ін.), що виникають при різанні, рівень кореляційних зв'язків параметрів процесів обробки і спостережуваних фізичних параметрів.

Для оцінки стану і діагностування такого доладного процесу, як обробка різанням, вимагається створити інтегральні методи оцінки стани процесів, що дозволяють фіксувати початковий стан і аналізувати динаміку розвитку за допомогою ЕОМ.

Дослідження показали, що в цьому випадку, так само як і при непрямому контролі технологічних параметрів, можна підвищити достовірність вимірів за допомогою багато параметричного контролю з подальшою алгоритмічною обробкою. Наявність в ГВС обчислювального комплексу, що управляє, дозволяє ефективно використовувати такий метод, проте виявлення кореляційних зв'язків значно ускладнюється, оскільки варіюватися можуть не лише параметри, але і склад використовуваної інформації і алгоритми її обробки. Збільшений об'єм інформації оцінки стану процесів обробки різко ускладнює передачу цієї інформації від об'єкту до об'єкту, а також в центральну ЕОМ, що управляє. Тому потрібні пошуки нових інформаційних технологій.

Інформаційна забезпеченість є деремо кроком в створенні активної технології ГВС, в якій проектування і управління технологічними процесами засновані не лише на початковій, але і на безпосередньо отримуваній в процесі експлуатації робочій інформації. Остання є основою, створення контрольно-блокувальних, інформаційних систем управління; Подібні системи розроблялися і раніше для звичайних верстатів з ЧПУ, але не отримали широкого розвитку внаслідок їх недостатньої гнучкості (пов'язаних з апаратними принципами реалізації), малої ефективності в умовах багатонаменклатурного виробництва і недостатньої технічної (головним чином, інформаційною) забезпеченості. У ГВС їх ефективність істотно вища, оскільки

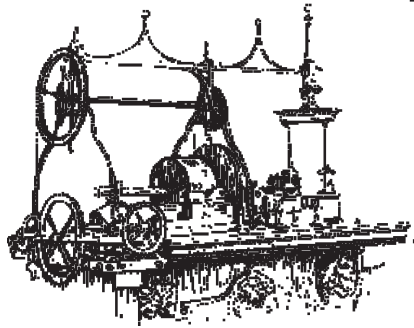


Рис. 15.5: Багатошпindelний автомат

година робочих процесів стає переважаючим у виробничому циклі виготовлення виробів.

Окрім безпосереднього підвищення економічних показників такі інформаційні системи дозволяють підвищити надійність управління технологічними процесами в умовах «безлюдної технології». Ці системи засновані на програмно-апаратних принципах, що спрощує їх технічну реалізацію і забезпечує необхідну пристосовність до умов виробництва, що змінюються в широкому діапазоні. У інформаційних системах технологічні рішення тісно пов'язані з динамічними характеристиками, які у свою чергу впливають на технологічні можливості устаткування. У загальному випадку інформаційні системи ГВС характеризуються змінною структурою, а їх адекватні математичні моделі є стохастичними, істотно нелінійними і дискретними. Динаміка таких систем тільки починає досліджуватися.

Новими в управлінні ГВС є підвищення дієвості зворотного зв'язку прийнятих проектних рішень по результатам реалізованого технологічного процесу. Коригуватися можуть як технологічні параметри, що формуються на етапі управління, так і початкові параметри етапу технологічної підготовки, зокрема зміст бази даних. Коригування властиве і традиційним виробничим системам, проте воно здійснюється при обов'язковій участі людини, об'єм отримуваної інформації зазвичай недостатній, а рішення носять суб'єктивний характер.

У ГВС коригування здійснюється в режимі безпосередньою передачі інформації, а її обробка і ухвалення рішень базуються на оптимальних алгоритмах управління. Це дозволяє використовувати роботу інформацію, що поступає в ході виконання виробничих процесів, для створення самонавчальних ГВС і сприяє підвищенню їх технологічної надійності. Але для реалізації таких самонавчальних систем потрібні обґрунтування методів і алгоритмів статистичної обробки отримуваної інформації, оцінка рівня її надійності, створення відповідного програмного і математичного забезпечення.

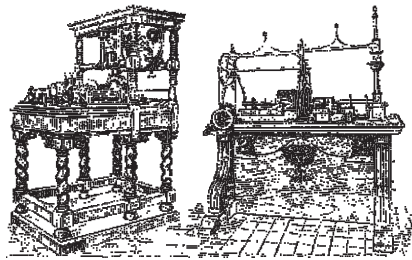


Рис. 15.6: Верстати VIP (царського виконання)



Технічні можливості ГВС дозволяють створити єдину інтегровану систему технологічної підготовки і управління виробничими процесами, а надалі - і проектування виробів, організовану на загальній методичній основі, об'єднану загальними інформаційними каналами і обслуговувану системою взаємозв'язаних ЕОМ. Методичною основою такої системи може служити принцип багаторівневої оптимізації, що припускає отримання рішень на кожному етапі управління на основі деякого приватного критерію оптимальності, витікаючого із загального критерію і не суперечить йому. В принципі такий метод справедливий і для традиційних виробничих систем. Проте оскільки для них відсутні досить повні математичні моделі технологічного процесу, робоча інформація про його протікання, а також засоби, що забезпечують можливість аналізу цих моделей, вказаний метод практично не реалізується.

Оптимізація основного технологічного процесу забезпечує значний приріст ефективності ГВС. Вона досягається пошуком кращих рішень технологічних завдань на усіх рівнях і етапах підготовки виробництва. Цьому сприяє автоматизація систем технологічної підготовки і управління, що дозволяє виробляти найбільш ефективне, однозначне і взаємопов'язане рішення технологічних завдань на основі принципу оптимальності. Створення інтегрованих систем вимагає подальшого розвитку теорії оптимальності технологічних процесів і її технічної і програмної реалізації стосовно ГВС. Вхідними даними інтегрованої системи є отримані на попередніх етапах технологічної підготовки зведення про зміст операцій, ідентифікатори деталей і заготівель, а також розміри їх партій.

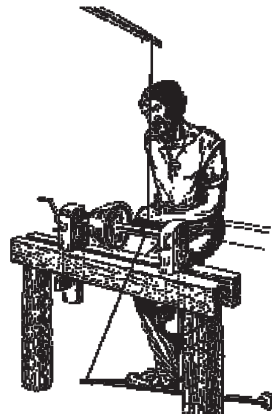


Рис. 15.7: Селянин

Довідкова інформація для вибору оснащення, розрахунків траєкторії руху інструменту, режимів обробки зберігається у базі технологічних даних. Для підвищення надійності проектування використовуються типові рішення, вхідний контроль і корекція змісту бази даних. Застосування вхідного контролю устаткування, заготівель, інструменту дозволяє зберігати у базі даних конкретні хара-

ктеристики кожної одиниці устаткування, уточнювати розрахункові параметри і зменшувати їх вірогідний розкид, не пропускати на позиції обробки інструмент і заготівлі, що не задовольняють заданим вимогам.

Частина даних, отриманих в результаті вхідного контролю (що в основному часто змінюються), можна застосовувати для організації адаптивного управління. В умовах багатомоноклітурних ГВС основними повинні стати експрес-методи вхідного контролю, що дозволяють отримувати інформацію про розрахункові характеристики заготівель і інструментів шляхом короточасних випробувань. Дослідження останніх років показують, що велику інформацію для цих цілей дають електрорушійна сила (ЕДС) різання, сигнали акустичної емісії і електромагнітного випромінювання.

Треба зв'язати фізичні і технологічні параметри процесів обробки, підвищити точність шляхом організації багато параметричного контролю, розробити алгоритмічне і програмне забезпечення систем контролю, створити спеціальні випробувальні стенди. Значним резервом підвищення технологічної надійності ГВС є уточнення розрахункових параметрів на основі статистичної обробки інформації, що отримується в ході виконання технологічних процесів.

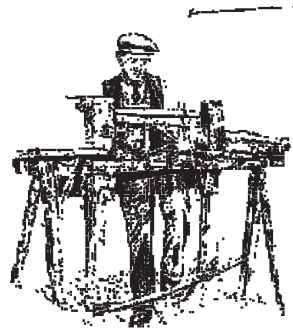


Рис. 15.8: Робітник 19 століття

Таким чином, перехід до нових методів проектування і управління, що реалізують основні принципи технології ГВС, дозволяє підвищити надійність проектних рішень, підвищити ефективність і надійність технологічних процесів в умовах переналаджуваних виробництв, понизити трудомісткість налагоджувальних робіт. Проте створення таких систем вимагає попереднього рішення ряду технологічних завдань. Очевидно, що додаткові витрати на «гнучкість» автоматизованого виробництва призводять до значного збільшення вартості.

Тому виникає необхідність в рішенні комплексу організаційних і інформаційних завдань, спрямованих на інтенсифікацію експлуатації автоматизованого виробництва. Ці завдання відносяться, у тому

числі, до інструменту, який повинен повністю відповідати умовам і вимогам автоматизованого виробництва. З одного боку, він повинен відповідати технічним вимогам, що виникають при виконанні виробничих функцій з обмеженим втручанням людини, а з іншого боку - економічним, полягаючи в зниженні собівартості при виготовленні.

Роль інструменту в забезпеченні ефективності автоматизованого виробництва показують наступні факти. Розширення номенклатури деталей, продиктоване вимогою гнучкості, по вимагало збільшення кількості інструменту на одній ГВС до 200 найменувань. До 2015 року щорічні витрати на інструмент виросли до 75% від витрат на устаткування. Технологічне, організаційне і інформаційне забезпечення ГВС, пов'язане з інструментом, складає до 35% від загальних витрат. Втрати часу при експлуатації токарних ГВС, необхідні для заміни і наладки інструменту можуть досягати 7% від річного фонду часу. Це показує, що інструменти серйозно впливають на структуру витрат в автоматизованому виробництві.

Ефективність сучасних технологічних систем визначається не лише величиною основного часу, коли найбільш суттєвим є знімання об'єму матеріалу оброблюваної деталі в одиницю часу, по і витратами допоміжного часу, часу технічного обслуговування і часу на наладку. Таким чином, перемінна доля собівартості операції, пов'язана з інструментом, залежить від режимів різання, втрат часу на наладку інструменту на задані розміри обробки, вартості інструменту за період його стійкості, а також пов'язана з випадковим (передчасним) виходом інструменту з ладу із-за руйнування або незадовільного формування стружки.



Рис. 15.9: Сучасний верстат

Таким чином, зниження собівартості операцій, що виконуються на автоматизованому устаткуванні, можна добитися: створенням інструменту, що забезпечує підвищення економічної швидкості різання (що знижує змінну долю собівартості); застосуванням пристроїв, що реагують на випадковий вихід інструменту з ладу і на незадо-

вільне формування стружки.

Підвищення економічної швидкості різання може бути досягнуте за допомогою застосування інструменту, який забезпечує :

- скорочення втрат часу на установку і заміну інструменту за рахунок використання конструктивних елементів, що взаємодіють з механізмами автоматичної зміни інструменту (АСИ) верстата Поєднання АСИ з часом холостих ходів верстата зменшує час заміни інструменту до нуля;
- скорочення втрат часу на наладку інструменту у верстаті. Досягається створенням інструменту, що налаштовується на розмір поза верстатом так, щоб знову встановлений інструмент забезпечував отримання розмірів деталі в необхідній зоні поля допуску;
- підвищення стійкості інструменту, у тому числі розмірною. Стійкість інструменту може бути підвищена за рахунок використання нових конструктивних рішень, застосуванням більше зносостійких матеріалів, у тому числі шляхом нанесення зносостійких покриттів. Істотним чинником підвищення стійкості є ефективне застосування СОЖ, що направляє у великій кількості безпосередньо в зону різання. Розмірна стійкість може бути підвищена шляхом застосування облаштувань автоматичного відновлення різальних кромок або автоматичної наладки їх положення;
- підвищення швидкості різання за рахунок збільшення в 2...3 рази частоти обертання інструменту.

Зниження простоїв устаткування, пов'язаних з позаплановим виходом інструмента з ладу, визначається наступними чинниками:

- підвищенням надійності інструменту за рахунок застосування змінних багатограних пластин натомість; діагностикою стану різальних кромок з метою негайного виключення;
- подачі, при цьому діагностичні датчики можуть бути вбудовані як в сам інструмент, так і у відповідні вузли верстата;
- застосуванням засобів формування стружки із заданими властивостями і відведення її із зони різання.

Для формування можуть бути використані як спеціальні уступи на передній поверхні ЗБП, так і методи кінематичного дроблення з використанням вузлів верстатів. Відведення стружки здійснюється щедрою подачею ЗОР і відсмоктуванням з допомогою спеціальних

пристроїв.

Зниження витрат на експлуатацію інструменту за період його служби досягається використанням в конструкціях уніфікованих деталей і вузлів і змінних наладок. Аналіз економічних вимог показує, що їх можна розділити на вимоги до різальної частини інструменту і вимоги до допоміжних пристроїв, що забезпечують функціонування різальних частин в системі автоматизованого устаткування. Технічні вимоги до цих пристроїв, що виникають при виконанні виробничих функцій з обмеженим втручанням людини, в першу чергу визначаються завданням повної орієнтації різального інструменту відносно оброблюваної деталі.

Базування, що виникають в процесі установки погрішності, і погрішності закріплення, визначають фактичне положення різальної частини інструменту відносно заданого у вибраній системі координат, а в результаті пружних, контактних, теплових деформацій допоміжних пристроїв і зносу їх елементів під впливом процесу різання відбувається подальша зміна різальної частини і наростають погрішності установки [6].

У завдання адаптивного управління входить усунення цих погрішностей. Деякі з цих завдань розроблялися раніше для традиційних виробничих систем. Проте для ГВС характерне об'єднання їх в єдину систему технологічної підготовки і управління, що дозволяє поставити проблему створення принципово нової технології. Тільки на її основі можлива реалізація найбільш ефективних технічних рішень і максимальне розкриття потенційних можливостей ГВС. Аналіз технологічних принципів побудови ГВС показує, що для будь-яких з них найбільш важливими є завдання створення раціонального інструментального забезпечення виробництва.

Для ГВС різної технологічної побудови інструментальне забезпечення має свої специфічні особливості. Оскільки інструмент є основою будь-якого виробництва і особливо виробництва, пов'язаного з обробкою різанням, актуальним являється ознайомлення майбутніх



Рис. 15.10: Сучасний цех

інженерів з розробкою інструментального забезпечення автоматизованого виробництва.

### 15.3 Інструментальне забезпечення

Сучасне автоматизоване виробництво (АП) може бути визначене як комп'ютерно-інтегроване, зв'язуючи воедино усі процеси, необхідні для проектування і виготовлення заданої номенклатури виробів. Задачі інструментального забезпечення подано у табл. 15.1. Найважливішою складовою такого виробництва є система проектування і управління технологічним процесом (технологічна система). У загальному випадку сучасна технологічна система включає три зони: проектування і планування технологічних операцій, виготовлення виробів і контролю.

Табл. 15.1: Задачі інструментального забезпечення

Функція	Задача
Управління ІЗ	- планування робіт; - контроль виконання.
Інформаційне забезпечення	- складська діяльність; - початкові данні для проектування інструменту.
Розрахунок необхідної кількості інструменту	- статистика; - аналіз потреби.
Проектування технологічної оснастки	- розробка завдання на проектування; - проектування оснастки
Експериментальне дослідження інструменту	- моделювання складного інструменту; - проведення експериментів; - обробка результатів експериментів
Постачання складного покупного інструменту	- оформлення заявок на постачання; - пошук постачальників; - видача документації
Виготовлення технологічної оснастки	- забезпеченість робочих місць; - виконання технологічного процесу; - прийом та видача продукції
Поновлення інструменту	- контроль стану інструменту; - контроль поновлення інструменту
Інструментальне забезпечення робочих місць	- розподіл інструментів по робочим місцям

Продовження табл.15.1

Функція	Задача
Наладка інструментів поза верстатом	- вибір устаткуванням; - проведення наладки; - контроль наладки

Оскільки раціональна технологія - це передусім, раціональне використання інструменту, то в організації технологічної системи виробництва основною і визначальною є організація і функціонування інструментального забезпечення (ІЗ). Головними видами забезпечення роботи АП є : технічне, технологічне, математичне, програмне, інформаційне, лінгвістичне, методичне, організаційне, економічне і інструментальне. Це є сукупністю засобів, методів, моделей, документів, показників, за допомогою яких досягається ефективна робота АП.

Весь інструмент, застосовуваний на машинобудівному підприємстві, залежно з його виробничого призначення підрозділяється на класи, підкласи, групи і підгрупи. Класифікації інструмента, стосовно цехах механічного оброблення приведено в таблиці 15.2.

Кожен клас інструмента підрозділяється на підкласи (наприклад, різці, фрези). Підкласи діляться на групи (наприклад, різці токарні стругальні). Кожна група інструмента підрозділяється на підгрупи (наприклад, різці токарні: розточні, чистові, прохідні, відрізні тощо.). У межах кожної підгрупи інструмент поділяється на секції (наприклад, токарні різці може бути прямі, вигнуті, відігнуті, дискові та інших.).

Табл. 15.2: Класифікація інструменту

Клас інструмента чи пристосування	Призначення	Підкласи інструмента чи пристосування
Металорізальний інструмент	Для зміни форми і збільшення розмірів оброблюваного матеріалу	- різці - фрези, - свердла, зенкери, розвертки, - протяжки.

Продовження табл.15.2

Клас інструмента чи пристосування	Призначення	Підкласи інструмента чи пристосування
Вимірювальний інструмент	Для перевірки правильності виробу або його частин	- вимірювальні лінійки, - штангенциркулі, - мікрометричний інструмент - мікроскопи - та інших.
Допоміжний інструмент	Для закріплення обробного інструмента в верстатах та ручних роботах	- державки, - патрони, - головки фрезерні, - та інших.
Пристосування	Пристрій для установки виробів на верстатах та ручних роботах	- патрони, лещата, кондуктори, - оправки, фрезерні, токарні, свердлильні - та інші верстатні пристосування.

Для інструментального забезпечення засобами являються : інструменти, устаткування для їх проектування, виготовлення, випробування, ремонту, утилізації, транспорт для доставки, склади для зберігання, прилади для налаштування, датчики для діагностики, прибудую для регулювання; методи та способи використання інструментів для отримання заданих характеристик виробів за якістю і обсягам випуску; моделі частіше усього існують у вигляді розрахункових формул, креслень, програм, що реалізують методи на ЕОМ; документи містять усю необхідну інформацію для здійснення дій і їх віддзеркалення для запам'ятовування; показники характеризують ефективність відповідних видів забезпечення.

У рамках АВ, як системи ІЗ є єдиною підсистемою, яка має спільну мету і тому розглядається відособлено в якості окремої системи. Таке уявлення про постачання робочих місць інструментами виникло у зв'язку з розвитком системного підходу до виробництва, викликаного автоматизацією. На заводах ця система відома під назвою інструментального господарства. Воно і є основою для системи інструментального забезпечення (СІЗ), що створюється в автоматизованому варіанті. Відбувається інтенсивне насичення інструментального господарства автоматами для управління системою, конструювання, виготовлення, складування, переміщення, установки інструментів на верстатах, їх ремонту і утилізації.



Кількісне нарощування рівня автоматизації повинне завершитись якісним стрибком в удосконаленні усієї системи. Шлях досягнення такого результату лежить через спільне використання накопиченого досвіду і останніх досягнень автоматизації. Взаємне проникнення цих напрямів особливо яскраво проявилось при створенні ГВС, які, в принципі, не можуть ефективно працювати без автоматизації ручних робіт, пов'язаних з доставкою, установкою і наладкою інструментів на станині. Інструментальне забезпечення, по суті, є діями, що направлені на пристосування технологічного устаткування для виготовлення заданого виробу у встановленому режимі роботи з отриманням необхідних якісних і кількісних показників. Для досягнення цієї мети слід оснастити відповідним інструментом верстати. У зв'язку з цим виникає необхідність в проведенні робіт із створення, зберігання, обліку, доставки і установки технологічного оснащення, яке визначається як знаряддя виробництва, що приєднується до технологічного устаткування для виконання технологічного процесу.

Спільне використання автоматичного устаткування і оснащення, досягнення основної мети виробництва. Він охоплює устаткування, оснащення і облаштування механізації і автоматизації. Мета інструментального забезпечення виробництва.

Мета ІЗ полягає у безпосередній дії основних інструментів на оброблювані заготовлі або збирані деталі для виготовлення виробів необхідної якості. На першому місці є ті основне, для чого створюються підприємства : випуск виробів для задоволення громадських потреб в них. Це досягається зрештою в результаті дії основних інструментів. Звідси витікає, що сучасне виробництво в усій його складності спрямоване на здійснення цих дій. Можна стверджувати, що економіка промисловості визначається мірою досконалості ІЗ, вимірюваною якісними показниками отримуваних виробів і продуктивністю діючого виробництва.

Засоби досягнення мети ІЗ . В результаті розподілу спільної мети на декілька отримаємо наступну послідовність дій. Ряд цілей, що призводять до її досягнення :

- виконання робочих і неодружених рухів інструментів;
- забезпечення робочих місць інструментом;
- забезпечення безпечної і ефективної експлуатації інструменту;
- забезпечення безперебійного постачання виробництва інструменту;

- виготовлення інструменту;
- постачання матеріалами і напівфабрикатами;
- забезпечення проведення експериментальних робіт з оснащенням;
- проектування інструменту;
- визначення потреби в інструменті;
- інформаційне забезпечення інструментального господарства;
- управління процесом ІЗ.

Функції системи інструментального забезпечення. Кожній цілі повинна відповідати певна дія системи. Звідси виявляється склад функцій системи. Взаємозв'язок їх визначається рядом цілей, що встановлюють основну послідовність їх виконання. У результаті створюється функціональна модель системи інструментального забезпечення (СІЗ), яка може мати різну форму представлення : у вигляді словесного опису, аналітичної формули, логічної залежності, графічної схеми. Остання виявляється переважною з двох причин: зручність сприйняття людиною і простота переходу від неї до програми реалізації моделі на ЕОМ.

Графічна форма у вигляді креслень, блок-схем, графіків функціональних залежностей дає можливість сприйняти модель в усьому її взаємозв'язку, здійснювати перетворення для отримання висновків, послідовно уточнювати закономірності в подробицях. Теорія графів вводить строгу логіку в перетворення і забезпечує доказовість висновків. Реалізація моделі на ЕОМ є кінцевою метою робіт, що проводяться по автоматизації СІЗ, Для цього потрібні алгоритми, що моделюють усю сукупність функцій системи.

Графи є універсальною формою представлення алгоритмів і використовуються в двох видах: графи, навантажені після вершин і після дуг. Перші зображуються так, що дуги закінчуються блоками, в яких вказуються виконувані дії і їх параметри. Це звичайні блок-схеми, широко вживані для викладу принципових схем виробів, потокових ліній, організаційних структур. Другі графи мають дуги, над якими позначені дії і параметри. Це широко відомі мережеві графіки. Обидві форми стандартизованих для алгоритмів в системі програмної документації. Переваги їх однакові, але форма графів, навантажених після вершин, зручніше для використання в технічній літературі.

Слід зазначити, що будь-який матеріальний результат фіксується випуском відповідної інформації. Наприклад, виготовлення зразків

оснастки відображається в накладній задачі їх на склад. Таким чином, інформаційне моделювання охоплює усі процеси в системі і з цієї точки зору набуває характеру виявлення загальних закономірностей її функціонування.

Отже, отриманий перелік завдань, охоплюючи усі дії, дозволяє значною мірою уточнити уявлення про роботу СІЗ і зробити черговий крок у напрямі її автоматизації. Кожне відмічене завдання представляється своєю моделлю у вигляді блок-схеми. Зображення блок-схем завдань робиться із застосуванням стандартизованих умовних позначень, розроблених для схем алгоритмів і програм, які розшифровуватимуться у міру розгляду моделей.

### 15.3.1 Блок-схеми

Блок-схема завдань має структуру, що характеризується чергуванням документів і робіт. Вона розпочинається з початкових документів, набір яких повинен бути достатнім для інформаційного забезпечення проведення роботи, Виконання наступної роботи потрібне додатковою інформацією. В даному випадку це будуть відомості про наявне спеціальне оснащення з відповідної бази даних (БД), без яких продовження процесу проектування виявляється неможливим.

Такий порядок видимий за усією схемою: кожна нова робота заснована на використанні раніше отриманого документу і додаткової інформації з інших джерел. Забезпечення достатньої повноти інформації для виконання кожної роботи є першою вимогою по створенню блок-схем завдань. В результаті отримують повний перелік документації, необхідної для здійснення процесу проектування.

Перелік дає можливість виконати друга вимога, що полягає у вирішенні питання про автоматизацію процесу переробки інформації. З цієї точки зору виділяються три моделі, автоматизації, що відповідають різним рівням. Початкова, фіксувальна досягнутий рівень Типова, задаюча найбільший можливий (ідеальний) рівень; Робоча, така, що визначає необхідний проектний рівень для чергового етапу впровадження автоматизації.

Між початковою і ідеальною моделями розташовується ряд робочих моделей, задаючих рівні автоматизації по етапах вдосконалення системи. Вибір рівня для кожного етапу визначається прагненням добитися оптимальної роботи системи при наявних обмеженнях на ресурси, що виділяються для автоматизації. Рівень автоматизації

економічно обґрунтовується, дані для обґрунтування беруть з технологічного процесу переробки інформації.

Загальна послідовність операцій при цьому задається блок-схемою завдання. Порівняння декількох варіантів таких схем з різними рівнями автоматизації дозволяє зробити вибір оптимального рішення. При побудові схем треба погоджувати рівні автоматизації операцій так, щоб вийшов автоматизований процес переробки інформації з як можна більшою мірою безперервності.

Блок-схеми завдань мають великі переваги для економічного викладу процесів ухвалення рішень. У них наочно зображаються усі операції і їх зв'язки з такою повнотою, що додаткові пояснення не потребуються. Тому блок-схеми слід розглядати як хорошу форму подання методичних питань. У такій якості вони будуть широко застосовуватись для викладу складних закономірностей роботи СІЗ. Крім того, створення схем є важливим етапом проектування систем і формального опису процесів переробки інформації для перекладу їх на ЕОМ.

Розробка блок-схем по усіх завданнях призводить до отримання повного переліку усіх документів, які слід створювати за допомогою ЕОМ при найвищому рівні автоматизації. Наявність такого переліку є обов'язковою умовою перспективного планування і економічного обґрунтування заходів по вдосконаленню СІЗ. При використанні інструмента в ГВС виконуються два типу функцій, пов'язаних з його застосуванням на гнучкому виробничому модулі (ГВМ) і з інструментальним забезпеченням ГВС в цілому.

У загальному випадку, чим вище рівень автоматизації окремого ГВМ тим більше число функцій, пов'язаних з використанням інструментальної оснастки, він виконує в автоматичному режимі і тим вищим має бути технічний рівень СІЗ ГВС.

### **15.3.2 Ефективність систем**

Ефективна робота ГВМ у складі ГВС може бути забезпечена тільки при відповідному технічному рівні СІЗ. Проте, представляється недоцільним передбачати високий рівень автоматизації як СІЗ в цілому так і окремих функцій інструментального забезпечення для одного або декількох високо автоматизованих ШМ, якщо основний склад ГВМ в ГВС має нижчий рівень автоматизації.

В той же час для ГВМ порівняно низького рівня автоматизації

за певних умов (велике число ГВМ, серійне або багато серійне виробництво продукції і т. д.) може бути доцільною висока міра автоматизації виконання окремих функцій, пов'язаних з підготовкою інструменту. У подібних випадках для таких ГВМ необхідно організовувати стикування з СІЗ високого рівня в цілях найбільш ефективного використання ГВС в цілому. Чим однорідніший склад ГВС по рівню автоматизації окремих ШМ, тим більше ефективно можна використовувати СІЗ.

Конструкції різального і допоміжного інструменту роблять істотний вплив на способи і режим виконання функцій, пов'язаних з використанням на ШМ. Різні рівні автоматизації ШМ і СІО повинні бути забезпечені що відповідає інструментом. Розглянемо детальніше організацію використання інструментального оснащення на ГВМ. У ГВМ 1-го рівня автоматизації робочі і неодружені ходи в циклі обробки здійснюються за жорстко заданою програмою, що управляє. В процесі виконання нікла обробки робиться автоматична зміна інструментів в шпинделі з накопичувача інструментів, що складається з одного або декількох магазинів.

Контроль стану інструментів здійснюється по ресурсу його роботи (по числу виконаних циклів обробки), після закінчення ресурсу роботи інструмента подається відповідний сигнал, після чого той, що оператор-налагоджує вручну замінює його. Крім того, інструмент може замінюватися (також вручну) по фактичному стану різальної кромки і технологічним критеріям затуплення.

Режими різання слід призначати з урахуванням необхідної надійності роботи інструментів. Рівень автоматизації таких ГВМ не дозволяє використовувати їх в режимі «безлюдної технології». Для скорочення часу простоїв устаткування при заміні інструментів доцільно мати при верстаті інструменти-дублери, заздалегідь налагоджені і прироблені.

Особливістю ГВМ 2-го рівня автоматизації є автоматичний контроль стану інструментів по ресурсу роботи (із захистом від аварійних ситуацій) або по фактичному стану різальної кромки і технологічним критеріям затуплення. Наявність цих видів контролю стану інструментів дозволяє перейти до їх автоматичної заміни при відмові. Автоматично здійснюється заміна ділянки або повністю різальної кромки (у інструментах відповідної конструкції), різальної голівки або самого інструменту дублером, заздалегідь встановленим в магазині, повного комплекту інструментів наладки або його частини.

Заміна повного комплекту при відмові будь-якого з інструментів, що входять в нього, робиться з використанням змінних магазинів. Можливість автоматичної наладки інструментів на верстаті дозволяє скоротити час їх налаштування при наладках і при підготовці дублерів, а також переточувати зношені, ділянки різальних кромки безпосередньо на верстаті. Засобу перевірки стану різальних інструментів забезпечують у ряді випадків автоматизацію їх вхідного контролю безпосередньо на верстаті.

Наявність автоматичної наладки інструментів у поєднанні з можливістю їх накопичення в загальному магазині для групи верстатів, в декількох спільно функціонуючих автономних магазинах або в автономних магазинах, використовуваних спільно з центральним магазином, дозволяє експлуатувати комплект інструментів або його частину в групі взаємозамінних ГПМ, то б то організувати між верстатний обмін інструментом. Це значно розширює технологічні можливості устаткування, підвищує надійність функціонування ГВС в цілому і скорочує потрібну кількість інструменту.

При організації такого обміну необхідно передбачити можливість переходу на індивідуальне інструментальне забезпечення в аварійних ситуаціях. Оскільки на ГВМ 2-го рівня автоматизації переналадки виконуються вручну, такі ГВМ можуть працювати в режимі «безлюдної технології» тільки без переналадки. У ГВМ 3-го рівня автоматизації забезпечується автоматична переналадка на обробку деталей іншого типорозміру або найменування. Налаштування інструменту на розмір здійснюється автоматично поза верстатом або безпосередньо на верстаті.

У тих випадках, коли автоматичне налаштування інструменту на розмір на верстаті неможливе, налаштування виконують вручну у відділенні підготовки інструментів. При цьому фіксують і кодують фактичний розмір, який потім при вступі інструменту на ГВМ автоматично прочитується і вводиться в пам'ять пристрою ЧПК верстата або в ЕОМ на ГВС. На подібних ГВМ автоматично здійснюється адаптація технологічного процесу до умов обробки, що змінюються. При цьому інструменти контролюються автоматично по фактичному стану різальної кромки і технологічним критеріям затуплення, оскільки такий спосіб контролю забезпечує найменшу вірогідність поломок і сколов інструменту, що у свою чергу скорочує простой ГВМ.

При відмові інструменту здійснюється автоматична заміна ділян-

ки або повністю різальної кромки, а також автоматична заміна різальної головки або інструменту в цілому дублером. Автоматична переналадка ГВМ (з використанням змінних магазинів інструментів) на випуск іншої деталі вимагає попередньої підготовки набору таких магазинів. При цьому інструменти, загальні для усієї групи деталей (торцеві і кінцеві фрези, окремі види свердел, мітчиків і т. д.), неминуче дублюються в змінних магазинах, що значно збільшує витрату інструментів і витрати часу на їх підготовку. На таких ГВМ найбільш ефективна поштучна, а не покомплектная автоматична зміна інструментів при переналадці.

Наявність автоматичної наладки ГВМ у поєднанні з автоматичним налаштуванням і наладкою інструментів дозволяє перейти до між верстатного обміну інструментом не лише між взаємозамінними, але і між взаємодоповнюючими ГВМ. Це означає, що комплект інструментів або його частина може використовуватися при виконанні різних операцій по різних програмам, що управляють, на декількох верстатах. ГВМ 3-го рівня автоматизації здатні працювати з переналадками в режимі «безлюдної технології».

При створенні СІЗ:

- розробляються і здійснюються організаційно-технічні заходи підготовки і видачі на робочі місця комплектів інструментальної наладки. Таких, що включають різальний інструмент і допоміжний інструмент для запланованих операцій;
- опрацювання конструкцій різців і геометрії їх різальної частини залежно від матеріалу і конфігурації оброблюваних деталей, специфічних умів різання і умів відведення стружки із зони різання з тим, щоб гарантована стійкість різців була не менш однією робочою зміни.
- створення ділянки для централізованого заточування інструменту; розробка технологічних процесів заточування і переточування, визначення фактичної стійкості інструменту між переточуваннями для кожної операції і норм його витрати на 1000 шт. оброблюваних деталей.
- випуск технологічної документації для функціонування СІЗ (відомості оснащення карти наладки інструменту і т. д.), розрахунок споживи в різальній інструменті після норм його витрати на 1000 шт. оброблюваних деталей, шляхом впровадження АСК планування, обліку і зберігання інструменту.

Комплекти інструментальних наладок для планованих до запуску

операцій готують в інструментальному відділенні ГВС відповідно до завдання, що видається за три дні до запуску, і супровідних карт на плановані операції, відповідно до технологічних завдань по рівню автоматизації окремих ГВМ, тим більше ефективно можна використовувати СІЗ.

Залежно від рівня автоматизації ГВМ може змінюватися не лише режим виконання функцій (ручний, автоматичний, автоматизований), але і сам склад функцій і способи виконання тих з них, які пов'язані з використанням інструменту. У ГВМ високої міри автоматизації частина функцій СІЗ може виконуватися в автоматичному режимі безпосередньо на самому верстаті. Значний досвід експлуатації гнучких виробничих модулів і систем виявив їх істотні відмінності від експлуатації верстатів з ЧПК.

Гнучкі виробничі системи мають в якості основного технологічного устаткування гнучкі виробничі модулі. Одним з варіантів роботи ГВМ є забезпечення його функціонування на заданий час без участі оператора після наладки. Окрім обробки деталей оператор в першу зміну робить наладку устаткування, інструменту засобів контролю і діагностики.

У другу і третю зміни обробка на ГВС виконується без участі оператора. Той, що налагоджує займається лише відновленням працездатності інструменту. Оскільки ГВМ створюють на базі верстатів з ЧПК, то в основу операційної технології для ГМ покладені типові рішення, апробовані на верстатах з ЧПК і ділянках з них.

Проте особливості ГВМ (ГВС) - висока вартість устаткування, автоматизація усіх елементів циклів обробки партії деталей наявність засобів діагностики інструментів і автоматичних вимірів, можливість заміни різальних інструментів після їх відмови або для профілактики на дублери в автоматичному циклі, експлуатація без оператора - вимагають значних змін в побудові операційної технології в порівнянні з технологією на верстатах з ЧПК.

Ці зміни в цілому аналогічні для токарних, свердлувальних, фрезерних і розточувальних робіт. При роботі на верстатах з ручними управлінням механізовані тільки робочі рухи інструменту. Установку, налаштування і заміну інструменту, а також контроль за його станом здійснює оператор.

Підвищення рівня автоматизації процесу обробки шляхом зменшення втручання оператора досягається разом з іншими заходами застосуванням ряду нових, у тому числі спеціальних конструкцій



інструменту, які відповідають вимогам високої ефективності використання устаткування з ЧПК. Критерієм оцінки необхідності застосування нового інструменту є мінімальність собівартості операції.

## 15.4 Питання до самоконтролю

1. Що таке система інструментального забезпечення?
2. Які задачі вирішує система інструментального забезпечення?
3. Що таке система автоматизованого проектування?
4. Які переваги інструменту що має змінні різальні елементи?
5. Як побудована універсальна модульна система інструменту?
6. Як підвищити безперервність використання верстатного устаткування?
7. Цілі діагностики різального інструменту?
8. Як зменшити витрати на інструмент?
9. Назвіть методи активного контролю інструмент?
10. Охарактеризуйте перспективи розвитку інструментальної галузі в сфері машинобудування.

## Література

- [1] Автоматизированное проектирование и производство в машиностроении / Под общ. ред. Ю.М. Соломенцева, В.Е. Митрофанова. - М.: Машиностроение, 1986.-286 с.
- [2] Автоматизированное проектирование режущего инструмента / В.А. Гречишников, Г.Н. Кирсанов и др. -М.: Мосстанки, 1984. - 107 с.
- [3] Гжиров Р.И., Гречишников В.А. Инструментальные системы автоматизированного производства. Спб.: Политехника, 1993. – 399 с.
- [4] Соломинцев Ю.М. Управление гибкими производственными системами. –М.: МАшиностроение, 1988. – 352 с.
- [5] Фрумин Ю.Л. Комплексное проектирование в инструментальном производстве. – М.: Машиностроение, 1987, – 344 с.
- [6] Ящерицьш П.И., Жигалко Б.И. Основы проектирования режущих инструментов с применением ЗВМ. - Минск: Высш. шк., 1979. - 304 с.

Якщо ти попереджений – ти  
озброєний.

*Людська мудрість*

## 16 Теми типових питання

Нижче наведено перелік тематики типових питань, що можуть бути винесені на іспит. Наведений перелік не означає, що питання сформульовані саме в такій формі. Це скоріш перелік загальних тем, які доцільно вивчити перед іспитом, щоб мати загальне уявлення про предмет.

1. Інструментальні сталі. Типи та властивості, позначення, сфера застосування для кожного типу. Хімічний склад для кожного типу. Навести приклади.
2. Кінематичні кути токарного різця. Різець встановлений вище осі деталі, обробка зовнішня, графічне і аналітичне визначення передніх і задніх кінематичних кутів. Навести розрахункову схему. Позначити нормовані площини.
3. Методика визначення співвідношення між заднім кутом в площині нормальній до різальної кромки і в головній січній площині на прикладі токарного різця. Графічно і аналітично викласти. Кут  $\lambda$  не дорівнює нулю.
4. Тверді сплави. Групи твердих сплавів, склад сплаву кожної групи, позначення і його розшифровки, характеристики (твердість, температурна стійкість), застосування кожної групи. Навести приклади.
5. Кінематичні кути токарного різця. Графічне і аналітичне визначення передніх і задніх кінематичних кутів для токарного різця який встановлений нижче осі деталі, обробка зовнішня. Показати розрахункову схему. Позначити нормовані площини.
6. Абразивні матеріали. Хімічний склад. Характеристики абразивного інструменту (твердість, пористість, зернистість, зв'язка), маркування інструменту, застосування.
7. Кінематичні кути токарного різця. Графічне і аналітичне визначення передніх і задніх кінематичних кутів для різця який встановлено вище за вісь деталі, обробка внутрішня. Показати розрахункову схему, Позначити нормовані площини.

8. Методика графічного і аналітичного визначення радіусу абразивного круга для заточування круглої протяжки. Форма передньої поверхні зуба круглої протяжки.
9. Нормовані площини – основна, головна січна і різання. Їх орієнтацію для звичайного токарного різця, фасонного тангенціального різця, свердла і протяжки. Умовне позначення нормованих площин.
10. Кінематичні кути токарного різця. Графічне і аналітичне визначення передніх і задніх кінематичних кутів для різця який встановлений нижче осі деталі, обробка внутрішня. Показати розрахункову схему. Позначити нормовані площини.
11. Залежність між кутом нахилу стружкової канавки свердла і його переднім кутом. Епюри розподілу переднього кута уздовж різальної кромки свердла. Математична залежність між значенням переднього кута свердла та радіусом розрахункової точки.
12. Системи координат в інструментальному виробництві (три). Визначення в кожній системі координат заднього кута для токарного і фасонного тангенціального різця, свердла, протяжки. Позначити нормовані площини.
13. Графічне і аналітичне визначення розподілу кінематичного переднього кута уздовж різальної кромки різця на прикладі токарного різця. Розрахункова схема і позначення нормованих площин.
14. Графічна і аналітична залежність між заднім кутом в осьовій площині і в площині перпендикулярної до різальної кромки свердла.
15. Типи (три) круглих фасонних різців. Призначення кожного типу, конструкція, геометрія кутів, способи кріплення, переточування.
16. Графічне і аналітичне визначення розподілу кінематичного переднього кута уздовж різальної кромки у токарного різця. Показати розрахункову схему і позначити нормовані площини.
17. Графічне і аналітичне визначення залежності між заднім кутом в осьовій площині і в циліндровій площині для стандартного спірального свердла. Привести розрахункову схему, вказати нормовані елементи.
18. Типи (три) призматичних фасонних різців. Призначення ко-

- жного типу, конструкція, геометрія кутів, способи кріплення, переточування.
19. Для круглого фасонного радіального різця графічно і аналітично визначити профіль різальної кромки в передній площині різця. Показати розрахункову схему і позначити нормовані площини.
  20. Для спірального свердла показати розподіл заднього кінематичного кута уздовж його різальної кромки з урахуванням величини подачі.
  21. Тангенціальні фасонні різці. Призначення, переваги в порівнянні з іншими фасонними різцями, конструкція, геометрія кутів на початку і у кінці формоутворення, способи кріплення, переточування.
  22. Викласти методику аналітичного визначення профілю круглого фасонного радіального токарного різця для деталі відомої форми. Показати розрахункову схему.
  23. Для спірального свердла графічно і аналітично визначити кут  $\lambda$  уздовж різальної кромки свердла (у площині перпендикулярній осі свердла). Привести епюру розподілу кута  $\lambda$ .
  24. Типи токарних різців і їх призначення. Для токарного прохідного відігнутого різця показати на головній і допоміжній кромці кути і нормуючі площини.
  25. Для токарного радіального фасонного різця графічно і аналітично визначити розподіл кінематичного переднього кута уздовж різальної кромки. Показати розрахункову схему, епюру кутів і позначити нормовані елементи.
  26. Характер розподілу задніх інструментальних і кінематичних (з урахуванням подачі) кутів уздовж кромки свердла при його загостренні по площині. Показати розрахункову схему і форму поперечної кромки.
  27. Форми передньої поверхні токарного різця (чотири) залежно від матеріалу деталі і сфери його застосування. Геометричні параметри для кожної форми. Геометричні і кінематичні методи дроблення стружки.
  28. Для круглого токарного радіального фасонного різця графічно і аналітично визначити розподіл заднього кінематичного кута уздовж різальної кромки в площині перпендикулярній до осі деталі. Показати розрахункову схему, епюру кутів і позначити

- нормовані елементи.
29. Вказати характер розподілу задніх інструментальних і кінематичних (з урахуванням подачі) кутів уздовж кромки свердла при його загостренні по циліндру. Привести розрахункову схему і форму поперечної кромки.
  30. Токарні різці з механічним кріпленням різального елементу. Типи кріплення (чотири) і сфера їх застосування, навести приклади конструкцій. Багатогранні пластини, типи, розміри, сфера їх застосування.
  31. Для круглого токарного радіального фасонного різця графічно і аналітично визначити розподіл заднього бічного кінематичного кута уздовж різальної кромки в площині перпендикулярної до проекції кромки. Показати розрахункову схему, епюру кутів і позначити нормовані елементи.
  32. Показати характер розподілу задніх інструментальних і кінематичних кутів (з урахуванням подачі) уздовж кромки свердла при його загостренні по методу Уошборна. Показати розрахункову схему і форму поперечної кромки.
  33. Протягування. Типи. Конструктивні елементи. Схеми зрізування припуска і їх характеристики. Форма різального і калібруючого зубів. Їх геометрія і кількість. Спеціальні конструкції протягань (збірна, з твердосплавними елементами).
  34. Для токарного радіального фасонного різця графічно і аналітично визначити розподіл переднього кінематичного кута уздовж різальної кромки в площині перпендикулярної до осі деталі. Показати розрахункову схему, епюру кутів і позначити нормовані елементи.
  35. Показати характер розподілу задніх інструментальних і кінематичних кутів (з урахуванням подачі) уздовж кромки свердла при його загостренні по методу Вейскеру. Показати розрахункову схему і форму поперечної кромки.
  36. Протягування. Групова схема різання при обробці круглого отвору. Розподіл розмірів зубів в групі. Форма западини між зубцями. Подача на зуб. Способи розподілу стружки. Розподіл припуска між зубцями в групі. Форма передньої поверхні зуба.
  37. Для токарного радіального фасонного різця графічно і аналітично визначити розподіл переднього бічного кінематичного кута уздовж різальної кромки в площині перпендикулярної до

- проекції кромки. Показати розрахункову схему, епюру кутів і позначити нормовані елементи.
38. Протягування шліцьове. Конструкція. Форма передньої і задньої такою, що направляє. Схеми КФШ, ФКШ і ШФК і їх характеристики. Шліцьові зубці, їх форма і призначення. Геометрія зубців їх форма. Розподіл припуску між зубцями.
  39. Викласти методику аналітичного визначення профілю токарного призматичного радіального фасонного різця. Показати розрахункову схему.
  40. Протяжки шпонкові. Конструкція, геометрія, форма зубців. Форма передньої і задньої такою, що направляє. Розподіл припуску між зубцями. Схеми розташувань в отворі.
  41. Викласти методику графічного визначення профілю токарного круглого фасонного різця з нахилою віссю. Обґрунтувати сферу застосування. Вивести співвідношення між переднім кутом, вимірним в площині перпендикулярної до осі деталі і в площині перпендикулярної до осі інструменту.
  42. Протяжки зовнішні. Конструкція різальних елементів. Способи кріплення різальних елементів і регулювання їх положення. Конструкція аплікатора. Подача на зуб.
  43. Викласти методику графічного визначення профілю токарного призматичного фасонного різця, який має нахилу вісь. Обґрунтувати галузь застосування.
  44. Вивести співвідношення між переднім кутом, вимірним в площині перпендикулярної до осі деталі і в площині перпендикулярної до осі інструменту.
  45. Свердла і їх класифікація. Конструктивні і геометричні елементи для усіх типів свердел - кут при вершині, кут нахилу канавки. Елементи різальної частини. Торцевий профіль свердел. Кільцеві і твердосплавні свердла. Типи підточувань і їх призначення.
  46. Викласти графічну методику профілю токарного фасонного тангенціального різця. Обґрунтувати сферу застосування. Показати кут  $\lambda$  для циліндричної ділянки деталі.
  47. Свердла для утворення глибоких отворів. Розташування опор і різальних кромок. Передні і задні кути.
  48. Викласти аналітичну методику профілізації токарного фасонного тангенціального різця. Обґрунтувати сферу його застосу-

- вання. Показати розрахункову схему.
49. Свердла спіральні. Розподіл передніх і задніх кутів уздовж різальної кромки. Способи заточування свердел (п'ять) і їх вплив на передні і задні кути свердла. Форма поперечної кромки залежно від способу заточування свердла.
  50. Для тангенціального фасонного різця графічно і аналітично визначити передній кут у момент початку і закінчення формоутворення деталі. Показати розрахункову схему.
  51. Зенкери і цекування цілісні. Призначення і типи. Конструктивні елементи, геометрія різальної частини. Форма торцевого перерізу інструменту.
  52. Для тангенціального фасонного різця графічно і аналітично визначити задній кут у момент початку і закінчення формоутворення деталі. Показати розрахункову схему.
  53. Збірні зенкери. Конструкція оправляння і змінних різальних елементів. Кути збірної і калібруючої частини. Типи змінних ножів. Комбінований інструмент. Геометрія різальних елементів.
  54. Для токарного різця з п'ятигранною змінною різальною пластинкою графічно визначити кути нахилу паза під пластину. Показати розрахункову схему.
  55. Борштанги їх призначення. Типи і конструкції, цілісні, збірні, регульовані. Способи регулювання розміру борштанги, плаваючи конструкції і їх характеристики. Кріплення різальних елементів. Передні і задні кути.
  56. Для токарного різця графічно і аналітично викласти методику визначення співвідношення між переднім кутом в площині нормальної до різальної кромки і в поперечній площині. Кут  $\Lambda$  дорівнює нулю.
  57. Розгортки. Типи і конструкція. Геометричні елементи різальної і калібруючої частини. Напрямок зуба розгортки. Товщина зрізу для розгортки. Ограновування отвору. Припуск під розгортання.
  58. Для токарного різця графічно і аналітично викласти методику визначення співвідношення між переднім кутом в площині нормальної до різальної кромки і подовжньої площини. Кут  $\Lambda$  дорівнює нулю.
  59. Розгортки, які регулюються за розміром. Конструкції, геоме-

- трія різальної і калібруючої частини. Діапазони регулювання. Форми різальних елементів. Припуск на розгортання.
60. Для токарного різця графічно і аналітично викласти методику визначення співвідношення між заднім кутом в площині нормальної до різальної кромки і в поперечній площині. Кут  $\lambda$  дорівнює нулю.
  61. Збірні і насадні розвертки. Конструкції оправки і різальних частин. Конструкція ножів і їх геометрія. Форма забірного конуса.
  62. Для токарного різця графічно і аналітично викласти методику визначення співвідношення між заднім кутом в площині нормальної до різальної кромки і в подовжній площині. Кут  $\lambda$  дорівнює нулю.
  63. Фрези. Типи фрез. Класифікація фрез залежно від способу загострення; форми початкової інструментальної поверхні; форми зуба; конструкції. Для кожної відповіді показати схему.
  64. Що таке похиле затилування. Коли воно застосовується. Як визначити кут, під яким виконують нахилене затилування. Показати схему.
  65. Конструкція пальцевих модульних фрез. Спосіб їх затилування. Графічне визначення профілю пальцевої фрези методом Белла-Сцеке.
  66. Завантаження зуба циліндричної фрези. Товщина зрізу графічно і аналітично. Покажіть розрахункову схему. Мінімальна і максимальна товщина зрізу для фрез.
  67. Для фасонної фрези затилованої по спіралі Архімеда показати характер зміни заднього кута уздовж різальної кромки.
  68. Типи зуборізних гребінок (два), величина передніх і задніх кутів (покажіть схеми). Намалюйте кінематичну схему формотворення гребінкою і вкажіть, з чим пов'язані деталь і інструмент.
  69. Передні кути фрез з похилим зубом. Графічно і аналітично показати співвідношення для переднього кута в торцевій площині і в площині нормальної до кромки зуба.
  70. Графічно визначите профіль гребінки в її передній площині з урахуванням позитивного переднього кута. Виведіть залежність між кутом профілю гребінки в площині зачеплення і в передній площині зуба.



71. Задні кути фрез з нахиленим зубом. Графічно і аналітично показати співвідношення для заднього кута в торцевій площині і в площині нормальній до кромки зубу.
72. Утворення задніх і передніх кутів у чашкових різців. Дайте характеристику кожному способу.
73. Графічно визначите профіль гребінки в площині нормальній до її задньої поверхні. Виведіть залежність між кутом профілю гребінки в площині зачеплення і площини нормальній до зуба.
74. Типи дискових не фасонних фрез. Одно- дво- три-бічні фрези, показати їх схеми. Їх геометрія (передні, задні, бічні кути) і форма зуба.
75. Способи поліпшення гребінок (оформлення передньої площини), і їх характеристики і вплив на точність формоутворення (кожного способу).
76. Фрези кутові (одно- двох-кутові). Конструкція, призначення, геометрія. Схеми установки на верстаті.
77. Модульні черв'ячні фрези. Показати схеми їх конструкцій. Викреслити кінематичну схему формоутворення, позначити деталь і інструмент.
78. Для кутової двосторонньої фрези графічно і аналітично показати залежність між переднім кутом в торцевій площині і в площині нормальній до різальної кромки.
79. Для модульної черв'ячної фрези графічно визначити профіль зуба в її осьовому перерізі. Показати правий і лівий бічні задні кути.
80. Показати схеми конструкцій торцевих фрез (цілісні і збірні). Геометрія зуба. Розподіл зубців по висоті. Схема зміни товщини зрізу.
81. Типи зуборізних довбачів, показати схеми їх конструкції і пояснити сферу застосування. Викреслити кінематичну схему формоутворення і позначити деталь і інструмент. Форма передньої поверхні довбача.
82. Пили, їх конструкція. Форма зуба і його геометрія. Способи утворення задніх бічних кутів для пив. Форма стружкової канавки. Фаски на різальних кромках, їх призначення.
83. Фрези кінцеві. Їх конструкція і призначення. Геометричні параметри, типи хвостовиків. Елементи зуба по яких виконується загострення. Чим кінцеві фрези відрізняються від фрез шпон.

84. Початкове (початкове) січення довбача. Коефіцієнт зміщення початкового перерізу і залежність для його розрахунку. Показати схему яка пояснює принцип зміщення початкового контура довбача. Для чого воно виконується.
85. Фрези шпони. Їх конструкція і призначення. Геометричні параметри, типи хвостовиків. Елементи зубу по яких виконується загострення. Чим відрізняються фрези шпонкові від кінцевих фрез.
86. Фрези черв'ячні. Конструкції (три). Покажіть кінематичну схему по якій відбувається формоутворення черв'ячними фрезами. Класи точності фрез.
87. По якій поверхні загострюють затилований інструмент і чому. Покажіть, як зміниться задній кут при вершині затилованої фрези, після її загострення і приведіть математичну залежність.
88. Фрези фасонні. Надати схеми загострення затилованих і гострозаточених фрез. Їх відмінність і сфера застосування.
89. Форма зуба черв'ячних фрез для деталей шліцьового профілю (з вусиками і без). Графічні профілізація таких фрез методом загальних нормалей.
90. Графічно поясните, чому при загострення затилованих фрез з позитивним переднім кутом профіль інструменту змінюється.
91. Графічно визначити профіль зуба фасонної фрези в площині передньої поверхні при позитивному передньому вугіллі і прямих стружкових канавках.
92. Перехідна крива при утворенні шліцьового валу черв'ячною фрезою. Графічно пояснити, чому вона виникає. Вкажіть межі її існування.
93. На прикладі утворення шліцьового валу черв'ячною фрезою графічно покажіть межі існування початкового кола і поясните, чому не можна приймати розмір початкового кола довільно.
94. Показати графічно розподіл величини переднього кута уздовж різальної кромки для фасонних фрез.
95. На прикладі утворення шліцьового валу черв'ячною фрезою графічно визначите лінію зачеплення. Покажіть на ній точку перелому і поясните, що відбувається в цій точці.
96. Показати аналітично розподіл величини переднього кута уздовж різальної кромки для фасонних фрез.

97. Класифікація зуборізного інструменту (схеми). Графічно показати схему зубчастого зачеплення і вказати основну і ділильну колу. Що таке кут зачеплення.
98. Графічне визначення проєкцій різальної кромки фасонної фрези, яка має передній кут і кут нахилу стружкової канавки.
99. Вивести рівняння евольвенти (Декартове і полярне) і формулу для инволюты кута. Показати розрахункову схему.
100. Кінематичні схеми (три штуки) загострення острозаточенных фрез.
101. Властивості евольвенти і її дотичної (пояснити графічно). Поняття про початковий контур.
102. Фрези фасонні затиловані. По якій поверхні виконують затилювання, з якою метою. Охарактеризуйте криві (5 кривих) по яких виконують затилювання і покажіть графічно відповідні схеми. Порівнюєте криві між собою.
103. Підрізування ніжки зуба зубчастого колеса. Поясніть, чому воно виникає і покажіть відповідні схеми (три) оформлення ніжки зуба.
104. Фрези затиловані по колу. Їх конструкція (з технологічним корпусом, з поворотним зубом). Пояснити за рахунок чого утворюється задній кут в кожній конструкції.
105. Корекція зубчастих коліс, з якою метою вона виконують. Покажіть схеми способів коригування профілю зубу.
106. Поясніть графічно зміщення початкового контура, його призначення. Що таке коефіцієнт зміщення початкового контура і як його визначають.
107. Нормування величини затилювання. Вивести формулу для визначення заднього кута при затилюванні. Перше і друге затилювання. Їх призначення.
108. Модульні дискові фрези, конструкційні параметри, призначення і за якою кінематичною схемою вони утворюють зуб. Поясніть, чому застосовують комплекти фрез.
109. Затилування по спіралі Архімеда, її рівняння. Графічна і аналітична побудова спіралі Архімеда, її властивості.
110. Дискові модульні фрези постійної установки, покажіть схему.
111. Дотична до спіралі Архімеда. Графічно показати визначення заднього кута в довільній точці спіралі. Параметр спіралі Архімеда, його зв'язок із заднім кутом.

112. Застосування дискових модульних фрез для утворення косо-зубого колеса. Покажіть послідовність розрахунків при виборі фрези для косозубого колеса.
113. Заміна частини спіралі Архімеда дугою кола. Покажіть графічну схему. Графічно провести дугу круга через довільну точку спіралі Архімеда.
114. Викреслите типи фасонних профілів (три) дискових модульних фрез. Поясніть їх зв'язок з розміром основного кола колеса.

Людський розум виховується  
вченням і мисленням.

*Цицерон*

## 17 Література

Нижче подано загальний список літератури яку можливо використувати під час вивчення предмету.

### Література

- [1] Автоматизированное проектирование и производство в машиностроении / Под общ. ред. Ю.М. Соломенцева, В.Е. Митрофанова. - М.: Машиностроение, 1986.-286 с.
- [2] Автоматизированное проектирование режущего инструмента / В.А. Гречишников, Г.Н. Кирсанов и др. -М.: Мосстанки, 1984. - 107 с. Ашихмин В.Н. Протягивание. -М.: Машиностроение, 1981. - 142 с.
- [3] Бобров В.Ф. Многопроходное нарезание крепежных резьб резцом. - М.: Машиностроение, 1982. - 104 с.
- [4] Васин В.А., Верещака А.С., Кушнер В.С. Резание материала / Термомеханический подход к системе взаимосвязей при резании. - М.: МГТУ им. Н.З. Баумана, 2001.-447 с.
- [5] Геллер Ю.А. Инструментальные стали, - М.: Metallurgy, 1983. - 556 с.
- [6] Гжиров Г.И., Гречишников В.А. и др. Инструментальные системы автоматазированного производства. - С.-Пб.: Политехника, 1993. - 339 с.
- [7] Грабченко А.Н., Кондусова Е.Б., Кривошея А.В., Равская Н.С., Родин П.Р. 3D-моделирование инструментов формообразования и схемы припуска при обработке резанием. - Харьков: НТУ «ХТИ», 2001. - 304 с.
- [8] Гречишников В.А. и др. Автоматизированное проектирование металлорежущего инструмента. - М.: Московский станкостроительный институт, 1984. - 109 с.
- [9] Гречишников В.А., Маслов В.А., Соломенцев Ю.М. Инстру-

- ментальное обеспечение автоматизированного производства. - М.: Мосстанки, 2000. -204 с.
- [10] Жедь В.П., Беровский Г.В., Музикант Я.А. и др. Режущие инструменты, оснащенные сверхтвердыми и керамическими материалами и их применение. -М.: Машиностроение, 1987. - 320 с.
- [11] Имитационное моделирование производственных систем / Под общ. ред. А.А. Вавилова. -М.: Машиностроение, 1983. -416 с. Иноземцев Г.Г. Проектирование металлорежущих инструментов. - М.: Машиностроение, 1984.-272 с.
- [12] Инструменты из сверхтвердых материалов / Под общ. ред. Н.В. Новикова. -К.: ИНМ им. Бакуля, 2002. - 526 с.
- [13] Калашников А.С. Технология изготовления зубчатых колес. - М.: Машиностроение, 2004. - 480 с.
- [14] Канцев П.Г. Протяжные работы. - М.: Высш. шк., 1985. - 191 с.
- [15] Карюк Г.Г, Бочко А.В., Моисеенко О.И., Сидоренко В.К. Высокопроизводительные инструменты из гексонита, - К.: Наук, думка, 1986. - 136 с.
- [16] Кирсанов Г.Н. Проектирование инструментов. Кинематические методы. - М.: Машиностроение, 1984. - 70 с.
- [17] Кирсанов Г.Н. и др. Руководство по курсовому проектированию металлорежущих инструментов. - М.: Машиностроение, 1986. - 288 с.
- [18] Коломиец В.В. Новые инструментальные материалы и области их применения. - К.: УМНВО, 1990. - 64 с.
- [19] Кузнецов Ю.И., Маслов А.Р., Бойков А.М. Оснастка для станков с ЧПУ. - М.: Машиностроение, 1983. - 360 с.
- [20] Кукляк М.Л. Металорізальні інструменти в машинобудуванні. Ч. 1. - К.: УСДО, 1993.-392 с. Кукляк М.Л. Металорізальні інструменти в машинобудуванні. Ч. 2. - К.: УСДО, 1993.-392 с.
- [21] Лакирев С.Г. Обработка отверстий: Справочник. - М.: Машиностроение, 1984.-208 с.
- [22] Лашнев С.И., Юликов М.И. Проектирование режущей части инструмента с применением ЗВМ. - М.: Машиностроение, 1980. - 206 с.
- [23] Лоладзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инстру-

- мента. - М.: Машиностроение, 1980. - 320 с.
- [24] Медведицков С.Н. Высокопроизводительное нарезание фрезам. - М.: Машиностроение, 1981. - 104 с.
- [25] Миронов И.Я., Кузнецов В.П., Анпилогов О.А. Технологическое обеспечение и расчет при нарезании резьб на токарных многошпиндельных автоматах. - М.: ЦНИИНТИКП, 1989. - 87 с.
- [26] Обработка материалов резанием: Справочник технолога / Под общ. ред. А.А. Панова. - М.: Машиностроение, 1988. - 736 с.
- [27] Ординцев И.А., Филиппов Г.В., Шевченко А.И. и др. Справочник инструментальщика. - Л.: Машиностроение, 1987. - 846 с.
- [28] Позняк Л.А. Инструментальные стали. -К.: Наук, думка, 1996. -480 с. Прогрессивные конструкции режущего инструмента для ГПС и роботизированных комплексов. - М.: МДНТП, 1987. - 167 с.
- [29] Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания / Под общ. ред. В.И. Баранчикова. - М.: Машиностроение, 1990. - 440 с.
- [30] .Производство зубчатых колес: Справочник / Под общ. ред. Б.А. Гайца. - М.: Машиностроение, 1990. -463 с.
- [31] Протяжки для обработки отверстий / Маргулис Д.К., Тверской М.М., Амихлин В.И. и др. - М.: Машиностроение, 1986. - 230 с.
- [32] Рабочие процессы высоких технологий в машиностроении / Под общ. ред. А.И. Грабченко. - Харьков: ХГПУ, 1999. - 334 с. Равська Н.С., Родін П.Р., Мельничук П.П. та ін. Різальний інструмент: Лабораторний практикум. - Житомир: ЖІТІ, 2002. - 296 с.
- [33] Равська Н.С., Родін П.Р., Ніколаєнко Т.П., Мельничук П.П. Основи формоутворення при механічній обробці. -Житомир: ЖІТІ, 2001. - 164 с.
- [34] Равська Н.С., Родін П.Р., Ніколаєнко Т.П., Мельничук П.П., Виговський Г.М. Геометрія спряжених поверхонь: Збірник задач. - Житомир: ЖІТІ, 2001 .-319с.
- [35] Резьбообразующий инструмент / Под общ. ред. М.З. Хостикова. - Пенза: Пензенский технологический институт, 1999. -405 с.

- [36] Робочі процеси високих технологій в машинобудуванні / За ред. А.І. Грабченко. - Житомир: ЖДТУ, 2003. - 451 с.
- [37] Родін П.Р., Бугай Ю.М., Равська Н.С. та ін. Металорізальні інструменти. Ч. 1.-К.:НМКВО, 1992.-226 с.
- [38] Родін П.Р., Бугай Ю.М., Равська Н.С. та ін. Металорізальні інструменти. Ч. 2.-К.:ІСДО, 1993.-178 с. Родін П.Р., Равська Н.С., Ковальова Л.І., Родін Р.П. Різальний інструмент у прикладах і задачах. - К.: Вища шк., 1994. - 294 с.
- [39] Родин П.Р. Металлорежущие инструменты. - К.: Вища шк., 1986. - 445 с.
- [40] Родин П.Р. Основы проектирования режущих инструментов. - К.: Вища шк., 1990.-423 с.
- [41] Сахаров Г.И. Обкаточные инструменты. - М.: Машиностроение, 1983. - 232 с.
- [42] Сахаров Г.И., Арбузов О.Б., Боровой Ю.Л. и др. Металлорежущие инструменты. - М.: Машиностроение, 1989. - 328 с.
- [43] Самойлов В.С., Зйхманов З.Ф., Фапковский В.А. и др. Металлообработывающий твердосплавный инструмент. - М.: Машиностроение, 1988. - 368 с.
- [44] Семенченко И.И., Матюшин Г.Н., Сахаров Г.И. Проектирование металлорежущего инструмента. - М.: Машгиз, 1962. - 452 с.
- [45] Сидоренко А.К. Червячные фрезы. - М.: Машиностроение, 1980. -81с. Современные тенденции развития режущих инструментов. - М.: НИИМаш, 1984.-56 с.
- [46] Справочник конструктора-инструментальщика / Под общ. ред. В.И. Баранникова. - М.: Машиностроение, 1984. - 558 с.
- [47] Сухоруков Ю.Н., Евстегнеев Р.И. Инструменты для обработки зубчатых колес методом свободного обката. -К.: Техника, 1983. - 121 с.
- [48] Технология производства и методы обеспечения качества зубчатых колес / Под общ. ред. В.Е. Старжинского, М.М. Кане. - Минск: УП «Технопринт», 2003. - 765 с.
- [49] Федюшин И.Л., Музыкант Я.А., Мещеряков А.И., Маслов А.Р. Инструмент для станков с ЧПУ, многошлицевых станков и ГПС. - М.: Машиностроение, 1990.-272 с.
- [50] Филиппов Г.Р. Режущие инструменты. -Л.: Машиностроение,



- 1981.-392 с. Фрумин Ю.Л. Комплексное проектирование инструментальной оснастки. -М.: Машиностроение, 1987. - 195 с.
- [51] Шевелева Г.И. Теория формообразования и контакта движущихся тел. - М.: Станкин, 1999.-494 с.
- [52] Юликов М.И., Горбунов Б.И., Колесов Н.В. Проектирование и производство режущего инструмента. - М.: Машиностроение, 1987. - 296 с.
- [53] Якимов А.В. Прерывистое шлифование. - К.: Вища шк., 1986. - 175 с. Ящерицьш П.И., Жигалко Б.И. Основы проектирования режущих инструментов с применением ЗВМ. - Минск: Вышш. шк., 1979. - 304 с.

### Інформаційні ресурси

<http://otvet.mail.ru/tech/>  
<http://sapr.net.ua/>  
<http://tehno-line.ru/files/stal/instryment.htm>  
[http://tsn-masterskaya.narod.ru/Abrazivnye\\_materialy\\_i\\_instrument.htm](http://tsn-masterskaya.narod.ru/Abrazivnye_materialy_i_instrument.htm)  
<http://www.abraziv.net/>  
<http://www.abrazive.ru/a0/ru/archive/view.shtml?i=25>  
[http://www.bizidei.ru/component/option,com\\_remository/Itemid,28/func,select/id,8/](http://www.bizidei.ru/component/option,com_remository/Itemid,28/func,select/id,8/)  
<http://www.carbidedepot.com/resources.htm>  
[http://www.diplom-online.ru/vuz/mgtu/zad\\_reginst.php](http://www.diplom-online.ru/vuz/mgtu/zad_reginst.php)  
<http://www.directindustry.com/>  
<http://www.directindustry.com/cat/machine-tools-milling-turning-E.html>  
<http://www.globaledge.ru/>  
<http://www.industr.ru/>  
<http://www.info.instrumentmr.ru>  
<http://www.inpo.ru/> <http://www.inpo.ru/library/reference/>  
<http://www.inrost.com/gost.php>  
<http://www.inrost.com/index.php?top=14>  
<http://www.instrument.su/cgi-bin/l2.cgi?idr=5>

<http://www.intech-diamond.com/debid/p0.htm>  
<http://www.ism.kiev.ua/indexr.html>  
<http://www.jel.de/englisch/frame.html>  
[http://www.nano.org.ua/russian\\_frame\\_set.htm](http://www.nano.org.ua/russian_frame_set.htm)  
<http://www.pelm.podolsk.ru/rus/>  
[http://www.technopolice.ru/nooaiou-eiiaiee-oaoiieae-  
anee-a-iiouoey/articles.html](http://www.technopolice.ru/nooaiou-eiiaiee-oaoiieae-<br/>anee-a-iiouoey/articles.html)

Навчальне видання

Солодкий Валерій Іванович

**РІЗАЛЬНИЙ ІНСТРУМЕНТ  
ТА  
ІНСТРУМЕНТАЛЬНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА**

Введення в предмет  
Конспект лекцій

Ум. друк. листів 19,2  
Київський політехнічний інститут  
ім. І.Сікорського  
Київ – 2016 р.